

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže**

# **Racionalizace technologie výroby leteckého dílce**

**Rationalization of Aero Element Production Technology**

**Student :**

**Tomáš Zlámal**

**Vedoucí bakalářské práce :**

**Ing. Jaromír Adamec, Ph. D.**

**Ostrava 2009**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Racionalizace technologie výroby leteckého dílce**

*Rationalization of Aero Element Production Technology*

**Student:** Tomáš ZLÁMAL  
**Studijní obor:** 2303R002 – 70 Strojírenská technologie  
**Pracoviště:** Katedra obrábění a montáže – 346

## **Zásady pro zpracování:**

1. Proveďte rozbor stávající technologie výroby u vybraného představitele.
2. Navrhněte technologii obrábění pro CNC obráběcí stroj včetně vhodných nástrojů a řezných podmínek.
3. Zpracujte řídicí programy pro obrábění na CNC obráběcím stroji.
4. Proveďte technicko-ekonomické porovnání stávající a navržené technologie obrábění.

**Pokyny pro zpracování:**

**Rozsah práce:** Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

**Seznam doporučené literatury:**

VLACH, BOHUMIL. *Technologie obrábění na číslíkové řízených strojích*. Praha: SNTL Praha, 1982. 395 s.

JANDEČKA, KAREL. *Programování NC strojů*. Plzeň: ZČU Plzeň, 2000. 159 s. ISBN 80-7082-692-4.

ADAMEC, JAROMÍR; SMOLKOVÁ, HANA. *Příklady programů pro číslíkové řízené obráběcí stroje*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 72 s. ISBN 80-248-0250-3.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

<b>Vedoucí bakalářské práce:</b>	Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce:</b>	5. října 2008
<b>Datum odevzdání bakalářské práce:</b>	22. května 2009
<b>Akademický rok:</b>	2008/2009



  
.....  
**doc. Dr. Ing. Josef BRYCHTA**  
vedoucí katedry

  
.....  
**prof. Ing. Radim FARANA, CSc.**  
děkan

V Ostravě dne 11. listopadu 2008

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 22.5 2009

.....

Prohlašuji, že

- § byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- § беру на ве́домии, же Выска́я школа́ ба́ньска́я – Техни́ческая универси́тета Остра́ва (да́ле же́н ВШБ-ТУО) ма́а пра́во нево́здѣ́лече́нне́ к се́бе вну́трянне́й потре́бе бакала́рьску́ю пра́цу и́звес́тит (§35 о́дста́вец 3).
- § souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- § было́ сже́днано́, же́ с ВШБ-ТУО, в слу́чае́ интере́са́ с е́е́ сто́роны, за́клуча́т ли́цензи́йное со́глаше́ние с о́бразложе́нием и́звес́тит де́ло в о́бла́сте §12 о́дста́вец 4 ау́торского́ за́кона.
- § было́ сже́днано́, же́ и́звес́тит де́ло – бакала́рьску́ю пра́цу и́ли же́ о́беспече́ние ли́цензи́и к е́е́ сто́роны и́звес́тит мо́гу же́н с со́глаше́нием ВШБ-ТУО, ко́торая́ же́ о́бразложена́ в та́ком слу́чае́ о́д мене́ потре́бовать о́бразмере́нный в́клад на о́пла́ту ра́схо́дов , ко́торы́ бы́ли ВШБ-ТУО на со́здание́ де́ла вы́несены́ (а́ж до е́е́ сто́роны́ фаќтически́ в́ыше́).
- § беру на ве́домии, же́ о́бразложе́нием де́ла со́глаше́нием се́бе и́звес́тит де́ла по́сле за́кона ч. 111/1998 Сб., о́ высо́ких шко́лах а́ о́ изме́не́нии а́ до́полне́нии да́льших за́конов (за́кон о́ высо́ких шко́лах), в о́звуче́нии по́зднее́ших пре́дписа́н, бе́з о́брати́теля на ре́зультат е́е́ сто́роны́ о́брати́теля.

V Ostravě 22.5.2009

.....

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ZLÁMAL, T. Racionalizace technologie výroby leteckého dílce. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 35 s. Bakalářská práce, vedoucí ADAMEC, J.

Bakalářská práce se zabývá racionalizací obrábění s využitím CNC obráběcích strojů a porovnáním dvou technologií výroby vybrané součástky v podmínkách Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. V úvodu je provedena volba typového představitele, rozbor stávající technologie výroby a byly popsány jednotlivé výrobní operace dle technologického postupu. Z důvodu zvýšení efektivity byl pro novou technologii výroby dílce navržen CNC obráběcí stroj, vhodné pracovní nástroje a způsob upnutí. Podrobně byl popsán průběh obrábění a byl vytvořen řídicí program pro CNC stroj. V závěru byla navržená technologie porovnána se stávající technologií výroby pomocí ekonomických ukazatelů používaných ve firmě Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

ZLÁMAL, T. Rationalization of Aero Element Production Technology. Ostrava: Department of cutting and assembling, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2007. Bachelor thesis, head: ADAMEC, J.

This thesis considers rationalization of machining while using CNC machines, it also compares two different production technologies applied on a production of a certain component under conditions of Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. Introduction of this thesis is presenting a selection of a suitable component, analysing current production technology and describing manufacturing operations as in the technological process. In order to achieve a better production effectiveness it was suggested to use a CNC machine for a new technology, convenient tools and fixturing method. Machining process was described in details and followingly an executive supervisory program for CNC machine was created in this thesis. Conclusion of this work is a comparison of the technology suggested with the technology currently used in terms of the economic indicators used by Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

# OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Seznam použitého značení .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>1 Charakteristika společnosti Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. ....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>2 Volba představitele pro racionalizaci výroby.....</b>	<b>- 11 -</b>
<b>3 Rozbor stávající technologie výroby součástí.....</b>	<b>- 11 -</b>
3.1 Soustružení.....	- 12 -
3.2 Výrobní stroj .....	- 14 -
3.3 Nástroje stávající výroby .....	- 17 -
3.4 Obrobek .....	- 19 -
3.4.1 Charakteristika materiálu .....	- 20 -
<b>4 Technologický postup stávající výroby .....</b>	<b>- 21 -</b>
<b>5 Návrh nové technologie obrábění .....</b>	<b>- 26 -</b>
5.1 Volba obráběcího stroje .....	- 26 -
5.1.1 Číslicově řízené stroje.....	- 27 -
5.2 Konstrukce a technické parametry stroje.....	- 27 -
5.2.1 Upnutí nástroje .....	- 29 -
5.2.2 Upnutí obrobku.....	- 30 -
5.3 Programování NC a CNC strojů .....	- 31 -
5.3.1 Číslicově řídicí system.....	- 31 -
5.3.2 Řídicí program.....	- 32 -
5.3.3 Tvorba technologie v prostředí SURFCAM .....	- 32 -
5.4 Návrh vhodného nástroje a řezných parametrů.....	- 36 -
5.4.1 Analýza řezných materiálů.....	- 37 -
5.4.2 Návrh geometrie VBD .....	- 38 -
5.5 Nově navržená technologie výroby dílce .....	- 40 -
<b>6 Technologický postup navržené výroby .....</b>	<b>- 42 -</b>
<b>7 Technicko - ekonomické zhodnocení stávající a navržené technologie .....</b>	<b>- 46 -</b>
7.1 Porovnání stávající a navržené technologie výroby .....	- 46 -
7.2 Ekonomické hodnocení .....	- 47 -
7.2.1 Stávající technologie výroby:.....	- 47 -
7.2.2 Nově navržená technologie výroby: .....	- 48 -

<b>8 Závěr.....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>- 51 -</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>- 52 -</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>- 54 -</b>



## Seznam použitého značení

Značení	Význam	Jednotka
CAD	počítačová podpora konstruování	-
CAM	počítačová podpora výroby	-
CNC	počítačem řízený stroj	-
VBD	vyměnitelná břitová destička	-
HV	tvrdost podle Vickerse	HV
HRC	tvrdost podle Rockwella	HRC
HS	hodinová sazba	Kč
ks	kus	ks
PVD	fyzikální způsob povlakování	-
Rm	mez pevnosti	MPa
Rp	mez kluzu	MPa
VBD	vyměnitelná břitová destička	-
$a_p$	hloubka řezu	mm
$f_n$	posuv	mm.min <sup>-1</sup>
n	otáčky vřetene	min <sup>-1</sup>
D	průměr	mm
$v_c$	řezná rychlost	m.min <sup>-1</sup>

# Úvod

Racionalizace výroby je procesem hledání a nacházení nových technologií za přispění strojů s větším podílem počítačových komponentů. V současné době roste podíl automatizace ve výrobě. Nasazení číslicově řízených strojů přináší nejen zvýšení produktivity práce, ale i opakované přesnosti a možnosti obrábění tvarově složitých a v mnohých případech standardními technologiemi nevyrobitelných součástí. Téměř v každém podniku jsou již takové stroje standardním vybavením. Hlavním cílem je dosažení co nejnižších výrobních nákladů a maximálního snížení těchto nákladů. Optimalizace jednotlivých operací obrábění a snaha po lepším využití času a stroje je v moderním výrobním podniku neustálou existenční nutností, zajišťující konkurenceschopnost tohoto podniku.

Konstrukce výrobních strojů jsou přizpůsobovány požadavkům na obrábění, ať již ekologickým či estetickým. Také se využívají integrované technologie a nové progresivní materiály umožňující obrábět za podmínek příznivějších pro uživatele. Zlepšením řízení a konstrukce stroje lze zlepšovat parametry samotného obráběcího cyklu. Tyto změny přinášejí zkrácení času celkové výroby dané součásti a tedy rychlejší návratnost finančních investic.

Obsahová náplň této práce je zaměřena na problematiku způsobu racionalizace výroby strojní součásti – leteckého dílce, z hlediska úspory časové a finanční. Úvodem je popsána charakteristika stávající výroby a její rozbor. Jde o vlastnosti obráběného materiálu, technologický postup, použitý stroj, nástroj a řezné podmínky. Následně jsou shrnuty poznatky z automatizace ve výrobním procesu, programování NC strojů a je navržena nová technologie obrábění včetně výpočtů řezných podmínek a popisu jednotlivých úseků operací obrábění. V závěru je provedeno technicko – ekonomické porovnání stávající a navržené technologie výroby a výsledné hodnoty jsou znázorněny grafem.

# 1 Charakteristika společnosti Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

Společnost Honeywell jako jeden ze světových leaderů v leteckém průmyslu má v České republice stále rozšiřující se okruh aktivit - návrh a výroba částí turbínových motorů, vývojové práce, zákaznickou podporu a prodej.

Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. se sídlem v Hlubočkách – Mariánském Údolí u Olomouce je součástí nadnárodní společnosti Honeywell, Inc. se sídlem v USA – Phoenix, Arizona.

Tato se zabývá výrobou a opravou plechových a žárových dílů leteckých turbínových motorů z nerezavějících ocelí a speciálních slitin (hliníkových, niklových, kobaltových a titanových). Jedná se o součásti stacionární, sloužící zpravidla v částech motoru od kompresoru, přes spalovací komoru až po výstup z motoru. Ve skutečnosti je to poměrně široký sortiment nejrůznějších komponentů pro všechny základní druhy turbínových motorů pro letecké i neletecké aplikace, v primárních pohonných aplikacích a pomocných energetických jednotkách.

Komponenty zde vyrobené tak naleznete v mnoha dopravních letadlech typu Boeing a Airbus, v obchodních letadlech typu Dassault Falcon, Cessna Citation a Learjet, stejně jako v helikoptérách a dalších letadlech.[11]

Oblasti působení:

- Výroba komplexních plechových dílů pro proudové motory
- Opravy statických dílů leteckých motorů



Obr. 1.1 Proudový motor TFE 731-50\_1[11]

## **2 Volba představitele pro racionalizaci výroby.**

Volba typové součásti pro tuto bakalářskou práci vychází z výrobního programu společnosti Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. Byl mi přidělen letecký dílec, který je součástí lineru v proudovém motoru. Jedná se o výkovek - linerovou přírubu, jehož výroba je realizována soustružením na konvenčních obráběcích strojích, viz. technologický postup, po odmaštění a defektoskopii je kontrolován na pracovišti finální kontroly. Výroba je prováděna v malých opakujících se sériích. Z důvodu úspory přípravných a operačních časů je stávající výroba nahrazena plně automatizovaným obráběcím centrem, které je pro tento typ výroby výhodnější.

## **3 Rozbor stávající technologie výroby součásti.**

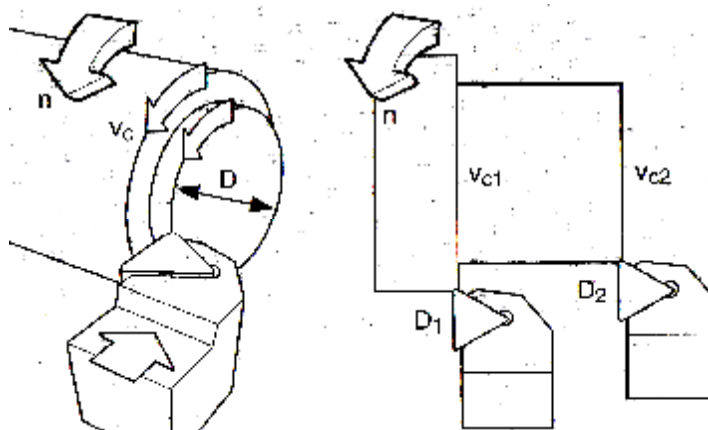
Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces se realizuje v obráběcím systému, který lze obecně členit na subsystémy obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem obráběcího procesu jsou příslušné obrobené plochy. Obrábění je realizováno v soustavě obrábění SNOP, kterou tvoří obráběcí stroj (S), nástroj (N), obrobek (O), přípravek (P).[8]

### 3.1 Soustružení

Soustružení je klasická metoda třískového obrábění používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů různých velikostí, většinou pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení. Řezný nástroj je pevný, zatímco obrobek rotuje. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi.[8]

Strategie soustružení je dána požadavky výkresové dokumentace pro kvalitu povrchu a rovinnost stěn linerové příruby. Čelní, podélné a tvarové soustružení provádíme na přírubových soustruzích. Samotná strategie soustružení je rozdělená na hrubovací a dokončovací operace. Linerovou přírubu tedy hrubujeme na rozměr s přírůbkem 0,2mm na stěnu. Tudíž na dokončovací operace si necháme materiál na dvě dokončovací třísky o průřezu 0,1mm. Tento způsob volíme z následujících příčin. Soustružené materiály mají tendenci odtlačovat řezný materiál a tím vnášet nepřesnosti do tohoto procesu. Před dokončovacími třískami vždy měníme řeznou hranu na VBD. V korekcích se posouváme až na poslední třísky. Pro poslední dvě třísky snížíme posuv na polovinu, zabezpečíme si kvalitu povrchu a rozměrovou přesnost. Při obrábění niklových slitin je zapotřebí důkladné chlazení. V podmínkách Honeywell Aerospace se jako chladicí kapalina používá Castrol – Produkt 239/15 – Alusol M-FX. Chlazení je důležité prvkem proto, aby nám z řezu neodcházela tepelně ovlivněná tříska.

Při obrábění je nezbytné stanovit a dodržovat určité řezné podmínky, jde zejména o volbu řezné rychlosti  $v_c$ , posuvu  $f$  a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu)  $a_p$



Obr. 3.1 Závislost řezné rychlosti.[1]

**Řezná rychlost ( $v_c$ )** je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku a definujeme ji jako obvodovou rychlost měřenou na obráběné ploše. K získání hodnoty řezné rychlosti musíme obvod  $p \cdot D$  obráběného průměru vynásobit otáčkami vřetene. [1]

$$V_c = \frac{p \cdot D \cdot n}{1000} \quad \left[ m \cdot \min^{-1} \right] \quad (3.1)$$

**Šířka záběru ostří ( $a_p$ )** udává rozdíl mezi obráběnou a obrobenou plochou. Při soustružení se pohybuje od hodnoty několika desetin mm až po několik mm. Hloubku řezu měříme vždy kolmo k ose posuvu, nikoli k břitě. [1]

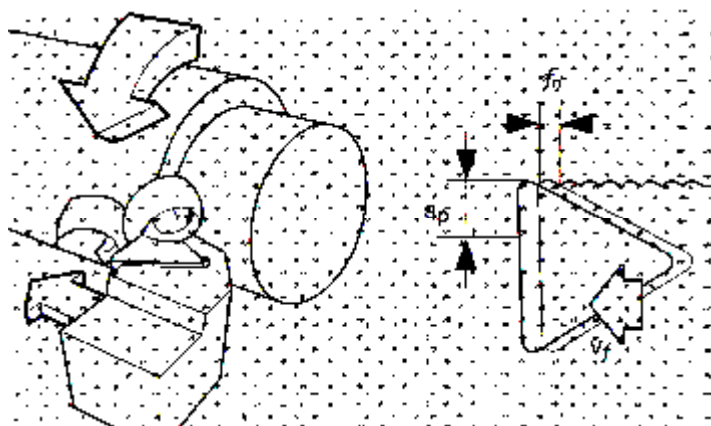
**podélné soustružení:**

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \quad [mm] \quad (3.2)$$

**čelní soustružení:**

$$a_p = L - l \quad [mm] \quad (3.3)$$

**Posuv na otáčku ( $f$ )** udává dráhu, kterou urazí špička břitu při každé otáčce obrobku. Jde o hodnotu, která je klíčová pro určení jakosti obrobené plochy a zajišťuje, aby utváření třísky probíhalo v souladu s výkonem, určeným geometrií břitu. [1]



Obr. 3.2 Schéma obrábění.[1]

## 3.2 Výrobní stroj

Proces obrábění linerové příruby se z větší části realizuje na konvečních obráběcích strojích. Jedná se o svislý soustruh (karusel) SKJ 8 F a hrotový soustruh SU 63A/1250. Poslední operace se kvůli tvarové složitosti obrobku převádí na plně automatizovaný horizontální soustruh SP 30 CNC.

Obrábění na konvenčním obráběcím stroji probíhá tak, že se nejprve provede hrubé naplánování výroby podle technologického postupu, při obrábění čte obsluha výkres a zpracovává veškeré informace související s daným technologickým postupem. Po každém úkonu plánuje další, až obrobek odpovídá požadavku obrobení, danému technologickým postupem a výrobním výkresem.[6]

### **Svislý soustruh (karusel) SKJ 8 F**

Karusel je určen pro soustružení vnějších a vnitřních válcových a kuželových ploch, čelních ploch a řezání závitů. Mezi hlavní části patří otočný stůl, stojany a příčníky se suportem. Princip karuselu spočívá v tom, že je na vřeteníku upevněno sklíčidlo s obrobkem. Na stojanu se svislým vedením je umístěn jeden nebo dva příčníky s nožovou hlavou. Pohyb nástrojů je možný ve směru svislém i vodorovném (obr 3.4).[9]

Na tomto zařízení začíná výrobní proces obrábění linerové příruby. Po ustavení a upnutí obrobku do soustružnického přípravku, provádíme první operaci hrubování vnějšího průměru. Dle navrženého výrobního postupu obsluha stroje nastaví předepsané otáčky pro hrubovací operace, stanoví posuv, najetí a vyjetí do pracovní polohy nástroje si usnadňuje rychloposuvem. V průběhu obrábění obsluha odstraňuje třísky, provádí kontrolní měření rozměrů a zjišťuje opotřebení nástroje.



Obr. 3.4 Karusel SKJ 8 F [12]

### **Univerzální hrotový soustruh SU 63A/1250**

Univerzální soustruhy mají uplatnění v kusové a malosériové výrobě pro soustružení přírubových a hřídelových součástí rozličných rozměrů a tvarů, hlavně tam, kde není nutné provádět náročné seřizování stroje. Mají vodící šroub a bývají vybaveny zařízením pro plynulou změnu otáček. (obr 3.5).[9]

Na tomto stroji se provádí druhá operace soustružení vnitřního průměru dle technologického postupu. Obsluha stroje dorazí obrobek na dosedací plochu čelistí, ustaví ho a pomocí číselníkového úchylkoměru vymezuje házivost dílce. Po dosažení povolené házivosti dílec upne. Soustružník nejprve zarovná čelo a osoustruží vnitřní průměr dle požadavků technologického postupu. Posuvným měřidlem provede rozměrovou kontrolu.





Obr. 3.5 Univerzální hrotový soustruh SU 63A/1250

### **Horizontální soustruh SP 30 CNC**

Produkční soustruh určený pro kusovou, malosériovou a velkosériovou výrobu přírubových a hřídelových dílců, výkovků a odlitků.[13]

Z důvodu technologické složitosti byl zvolen pro tuto operaci CNC soustruh (obr.3.6). Obsluha CNC stroje ustaví obrobek na dosedací plochu čelisti, vymezí vůli a házivost pomocí úchylkoměru a upne. Pro upnutí používá operátor stroje speciálního momentového klíče, aby nedošlo k tvarové deformaci dílce. Výroba probíhá dle obráběcího programu, v kterém jsou předepsány hodnoty řezných podmínek. V případě nutnosti může obsluha stroje kdykoli přerušit výrobní proces, pro případné odstranění třísek nebo pro rozměrovou kontrolu. K tomu využívá jed nouúčelové speciální měřidlo.



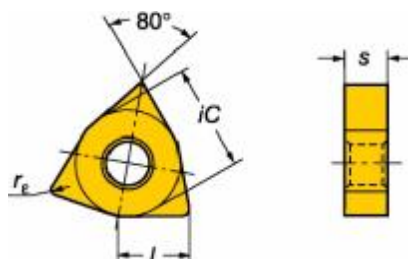
Obr. 3.6 Horizontální soustruh SP 30 CNC [13]

### 3.3 Nástroje stávající výroby

Pro stávající výrobu dílce na konvečních strojích byly použity VBD od dodavatelů firmy Honeywell Olomouc. Firma Sandvik Coromant s.r.o. a Seco Tools CZ s.r.o. jsou dvě z hlavních světových dodavatelů řezných nástrojů pro kovozpracující průmysl. Soustružnické nože mají vyměnitelné břitové destičky různých tvarů. Typ VBD pro jednotlivé operace vychází z výrobního technologického postupu součástí. Hrubovací a dokončovací VBD se od sebe liší geometrií a úpravou povrchu (obr. 3.7 a 3.9).

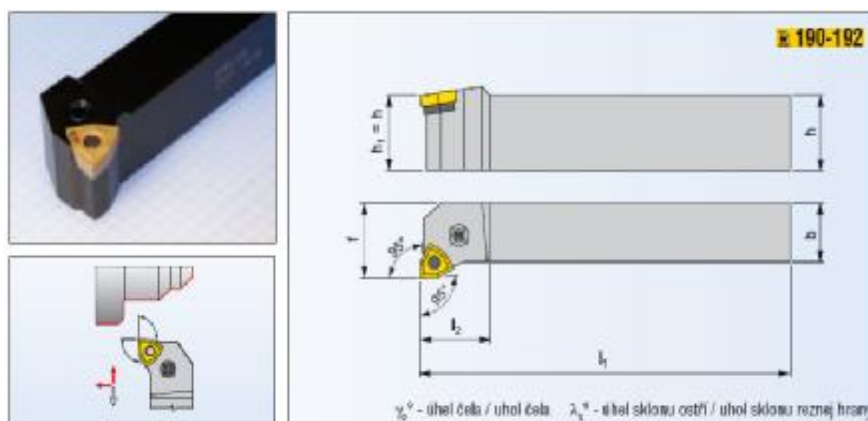
Hrubovací operace: Seco Tools

**Vyměnitelná břitová destička: WNMG 08 04 08-MF1**



Obr. 3.7 Tvar VBD [16]

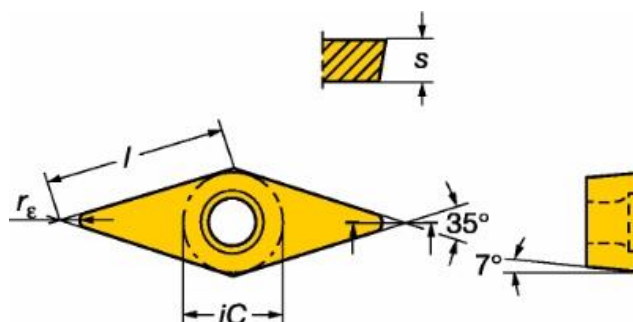
**Držák VBD: PWLNR 2525 M08**



Obr. 3.8 Držák VBD [16]

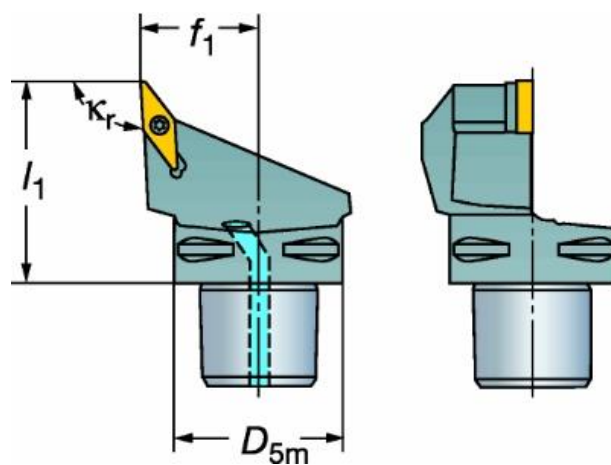
Dokončovací operace: Sandvik Coromant

**Vyměnitelná břitová destička: VCGT 16 04 08 FN**



Obr. 3.9 Tvar VBD [10]

**Držák VBD: C4-SVJBL-27050-16**



Obr. 3.10 Držák VBD [10]

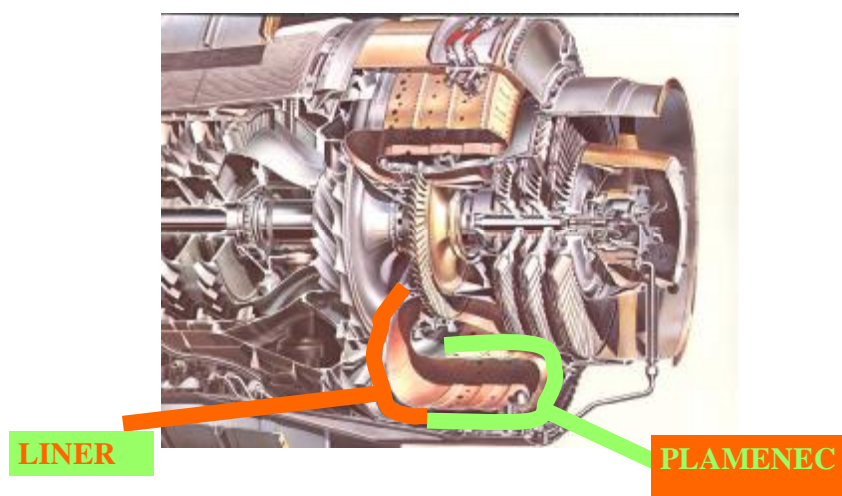
### 3.4 Obrobek

Jedná se o tenkostěnný dílec (obr. 3.11), který je součástí lineru v proudovém motoru. Liner - čelní stěna plamence u protiproudé spalovací komory. Slouží k nasměrování spalin na první stupeň turbíny (obr. 3.12). Polotovarem pro výrobu linerové příruby je výkovek kruhového průřezu o vnějším průměru 490mm. Materiál INCONEL alloy 718



Obr. 3.11 Linerová příruba

Na základě poskytnuté dokumentace Linerové příruby, jsem v programu Autodesk Inventor Profesional 11 zhotovil 3D model a vytvořil výkres součásti, který je součástí přílohy. Číslo výkresu 3060573-1-A3.



Obr. 3.12 Liner a plamenec TFE-731 [11]

### 3.4.1 Charakteristika materiálu

#### Slitina niklu- INCONEL alloy 718

Jedná se o vytvrditelnou slitinu niklu, která spojuje vysokou pevnost do teplot 700°C a korozní odolnost spolu s vynikající svařitelností. Nejvíce je tato slitina náchylná na precipitační zpevnění. Z toho důvodu se snažíme, aby řezná síla  $F_c$  byla co nejnižší. Dnes jsou slitiny typu INCONEL, široce používány pro civilní i vojenské proudové motory od hořáků přes plynové turbíny až k výfukovým systémům. Tyto slitiny mají specifikaci pro použití v komerčních proudových letadlech, vojenských nadzvukových letadlech, vrtulnících a v kosmických programech. Uplatnění však našly i v jiných odvětvích průmyslu a to především v automobilovém a chemickém. [15]

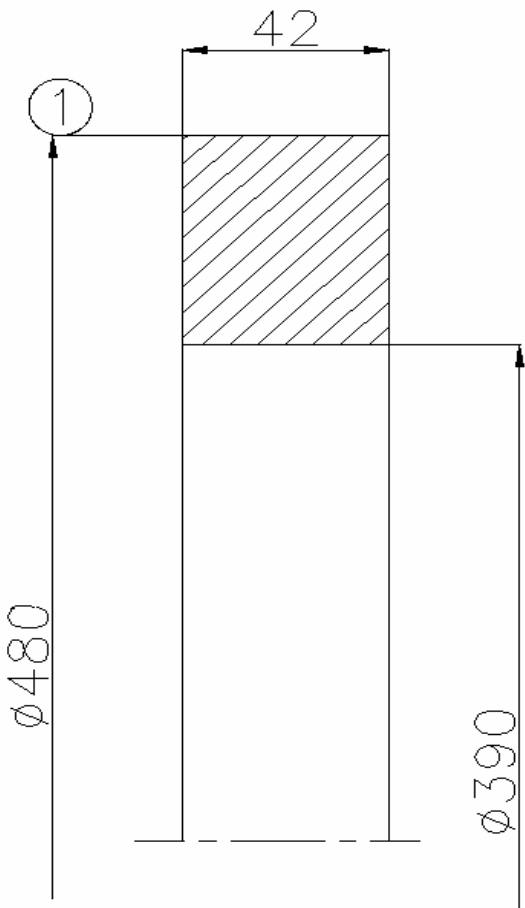
Tab. 3.1 Chemické složení slitiny INCONEL 718 [14]

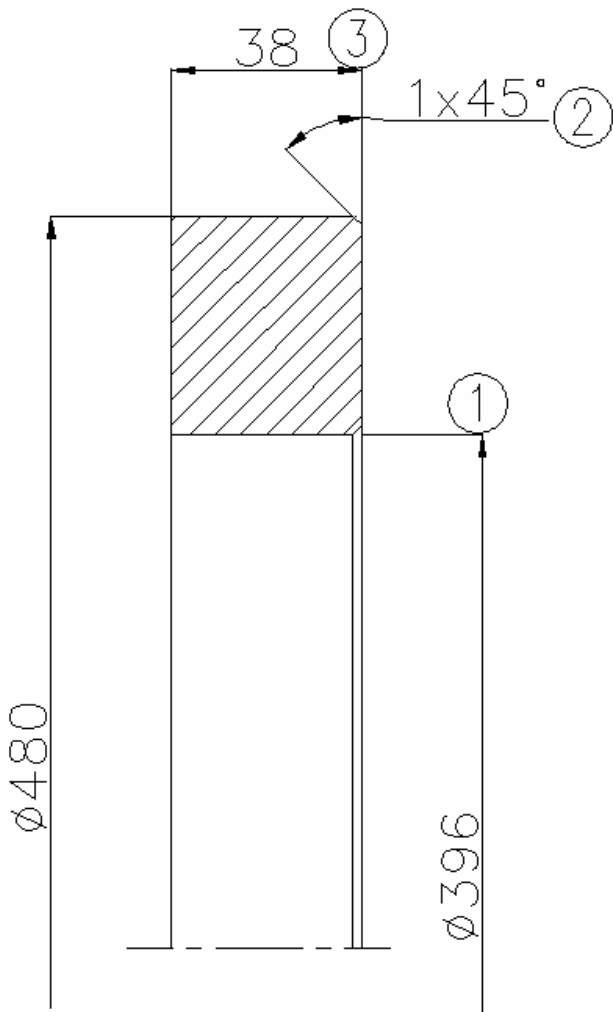
Ni [%]	Cr [%]	Fe [%]	Nb [%]	Mo [%]	Ti [%]
54,0	18,0	18,5	5,0	3,0	1,0

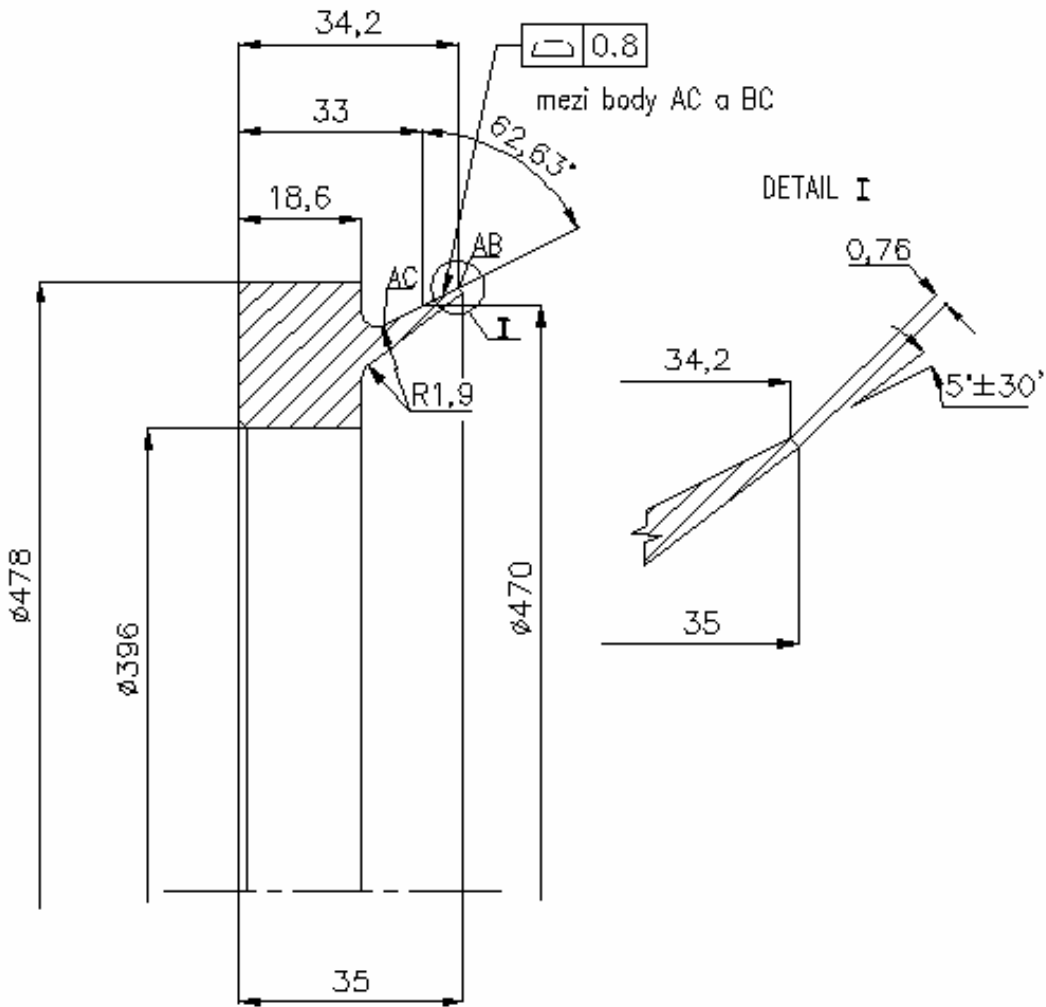
Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti slitiny INCONEL 718 [14]

Měrná hmotnost	RM	Re <sub>0,2</sub>	Tažnost	Tvrdost	Pevnost při tečení
g.cm <sup>-3</sup>	MPa	MPa	%	HV	MPa
8,19	1413	1138	20	425	370

## 4 Technologický postup stávající výroby

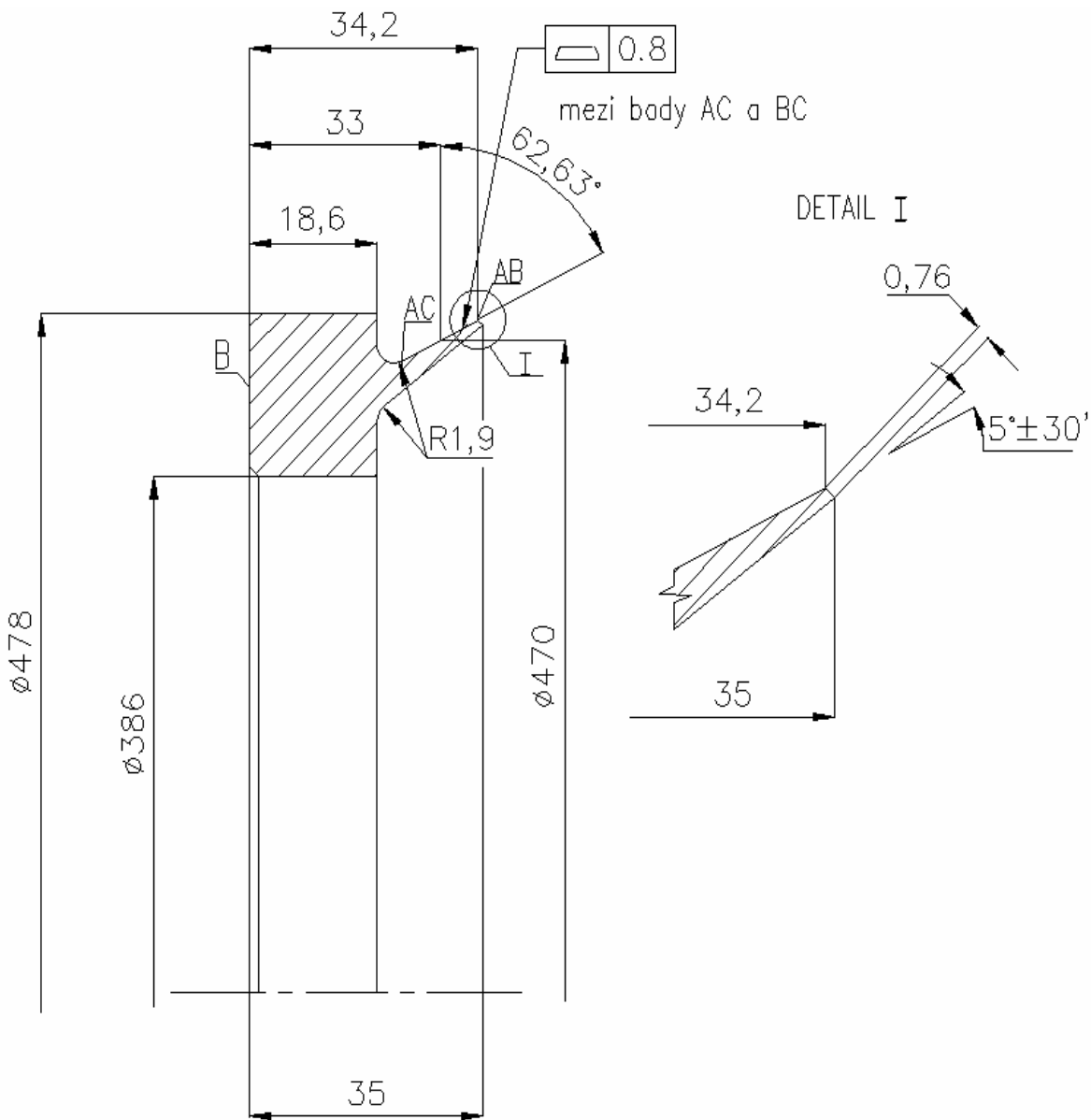
Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operace
005	0422111 Soustružení	1.Ustavit výkovek vnitřním průměrem do čelistí a upnout 2.Soustružit vnější průměr na rozměr "1" 3.Srazit ostrou hranu na 0,5x45°max. 4.Uvolnit dílec a odložit	Karusel SKJ 8F; Přípravek soustružnický P/S UNI 100-600		24,5
					

Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operac e
010	0413113 Soustružení	1.Ustavit výkovek do čelistí za vnější průměr s dorazem na čelo a upnout 2.Zarovnat čelo na rozměr "3" 3.Soustružit vnitřní průměr na rozměr "1" 4.Soustružit sražení na rozměr "2" 5.Uvolnit dílec a odložit	Hrotový soustruh SU 63A/1250; Upínací čelisti P/Čel 3060573-904/10; Držák VBD PWLNR 2525 M08; VBD WNMG080408- MF1 CP200		50,96
					

Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operac e
015	3412415 Soustružení	1.Ustavit dílec do P/Čel za vnitřní průměr s dorazem na čelo "B" a upnout 2.Soustružit dle IL 3.Odjehlit hrany 0,2x45°max.	SP 30 CNC; IL 3741 Instrukční list; Upínací čelisti P/Čel 3060573-904/15; Měřidlo speciální M/Sp 3060573- 904/15; Držák VBD C4- SVJBL-27050-16; VBD VCGT160408FN-25P AMZ;		113
 <p>The technical drawing shows a mechanical part with the following dimensions and features:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Overall height: 478</li> <li>Inner diameter: 396</li> <li>Outer diameter: 470</li> <li>Top flange width: 34,2</li> <li>Flange thickness: 33</li> <li>Distance from top face to center of hole: 18,6</li> <li>Hole diameter: 35</li> <li>Radius of fillet: R1,9</li> <li>Surface texture symbol: 0,8</li> <li>Angle: 62,63°</li> <li>Detail I shows a chamfer with width 0,76 and angle 5°±30'.</li> </ul>					



Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operace
020	2635111 Odmašťování ekol.	Odmastit dílec dle předpisu	Odmašťovací linka – EKOL 1780, 1840 Alkalické odmaštění CHP-6		0,980
025	2868813 Kapilární kontrola	Fluorescenční kontrolu provádět dle MDT01 a EMS52309 Hodnocení: povrch EMS 57931 class1.			0,010

030	0986117 Kontrola	<p>1. Překontrolovat vzhled výrobku, jeho celkové provedení a čistotu.</p> <p>2. Překontrolovat dle průvodního listu provedení všech operací</p> <p>3. Kontrolovat rozměry předepsané v DIP dle T.V., rozměry neuvedené kontrolovat dle nákresu v operaci.</p> <p>4. Výsledek kontroly potvrdit v průvodním listě.</p>			6,86
	 <p>The drawing shows a cross-section of a mechanical part. Key dimensions include: overall width 34,2; internal width 33; distance from centerline to inner edge 18,6; outer diameter <math>\varnothing 478</math>; inner diameter <math>\varnothing 386</math>; total height <math>\varnothing 470</math>; base width 35; and a fillet radius <math>R1,9</math>. A detail view labeled 'DETAIL I' shows a chamfer with a width of 0,76, a height of 34,2, and a base width of 35, with a taper angle of <math>5^\circ \pm 30'</math>. A surface texture symbol indicates a value of 0,8 between points AC and BC. Points AB, AC, and BC are marked on the part's profile.</p>				

## 5 Návrh nové technologie obrábění

Při novém návrhu technologie obrábění součásti je důležité zachovat stejný ráz výroby. Pružný výrobní systém je takový systém, který propojuje obráběcí jednotky, tok materiálu a tok dat. Je především aplikovaný na sériovou a hromadnou výrobu, případně na výrobu určitého typového představitele. Cílem pružné výroby v pružných výrobních systémech je vyrábět obrobky v nestanovené posloupnosti (podle potřeby) v různých počtech kusů, zcela automaticky, levně, pružně, efektivně uspořit mzdy a náklady.[4]

Pro dodržení těchto hospodárných parametrů, budeme při obrábění slitiny Inconel používat obráběcí stroj a řezné nástroje, které jsou používány ve výrobě leteckých motorů.

### 5.1 Volba obráběcího stroje

Ze strojového parku firmy Honeywell jsem pro novou technologii výroby součásti zvolil stroj s označením SP 35 CNC (obr. 5.1). Tento stroj jsem navrhl na základě technických parametrů a pracovního rozsahu stroje, který nám umožňuje obrábět požadovaný rozměr obrobku.

SP 35 CNC je těžký produkční soustruh určený pro kusovou, malosériovou a velkosériovou výrobu přírubových a hřídelových dílců do max. délky 1600mm a těžších přírubových dílců. Pro automatickou výměnu jsou soustruhy vybavovány masivním portálovým nakladačem včetně transportních válečkových tratí.[13]



Obr. 5.1 Horizontální soustruh SP 35 CNC [13]

### **5.1.1 Číslicově řízené stroje**

Číslicově řízené NC (Numeric Control) i CNC (Computer Numeric Control) obráběcí stroje umožňují dosažení libovolné, předem dané polohy pracovního uzlu stroje podle záznamu. Jejich hlavním úkolem je automatické obrábění součástí. NC a CNC stroje umožnily řešit velmi složité technologické operace (výroba tvarově velmi složitých součástí, obrábění tvarových ploch rovinných i prostorových). Pro tyto stroje platí, že tvar obrobku a údaje o uskutečňování pomocných úkonů jsou vyjádřeny čísla a zaznamenány vhodným kódem na nosič programu.[7]

SP 35 CNC patří mezi jednoprofesní stroje pro užití jednoho druhu technologické operace. U tohoto typu jsou řízeny dvě souvisle řízené osy v jedné rovině a dále parametry technologického procesu jako posuvy (F), otáčky (S), volba nástroje (T).

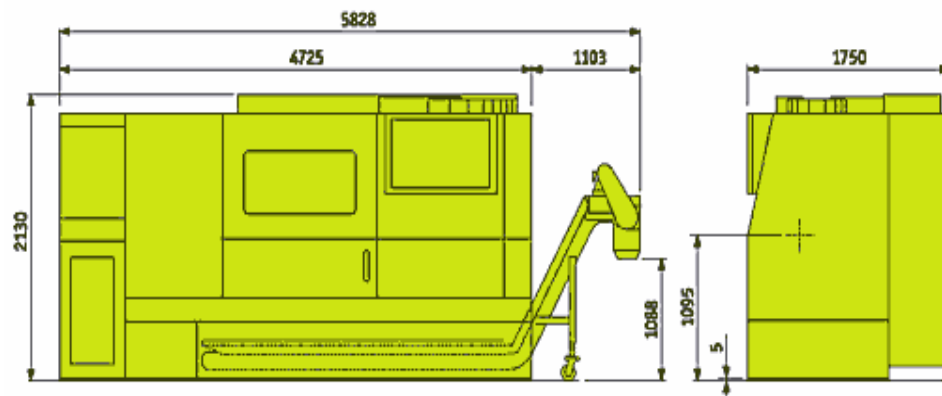
Tyto stroje jsou svoji konstrukcí uzpůsobeny pro práci v bezobslužných provozech, a to zejména tím, že mají automatickou výměnu nástrojů a obrobků, pracují v automatickém cyklu a dále jsou vybavovány diagnostikou. Vysoká přesnost obrábění je dána nejen vyloučením lidského faktoru z procesu obrábění, ale i užitím systémů aktivní kontroly během procesu obrábění.[7]

## **5.2 Konstrukce a technické parametry stroje**

Konstrukce samotných NC a CNC strojů se s ohledem na užité vlastnosti zásadně neliší od klasických obráběcích strojů. Tyto stroje se vyznačují vysokou tuhostí a přesností provedení, což vede k minimálnímu oteplování jednotlivých částí stroje. Z důvodu hospodárného režimu soustružení mají NC a CNC stroje pohony s plynulou změnou otáček. Tyto moderní pohonné systémy umožňují optimální nastavení rezné rychlosti pro každý způsob obrábění, dosahuje se u nich širokého rozsahu otáček. Pro výměnu nástrojů v automatickém cyklu podle sledu operací, jsou tyto stroje vybaveny zásobníkem nástrojů.[7]

Tab. 5.1 Výběr technických parametrů stroje [13]

PRACOVNÍ ROZSAH SP 35 CNC stroje	
oběžný průměr nad ložem	660 mm
oběžný průměr nad suportem	480 mm
vzdálenost mezi hroty – provedení N / L	890 mm / 1640 mm
úhel sklonu lože	45°
VŘETENO	
konec vřetena	A2 – 8
vrtání vřetena	102 mm
kužel vřetena	1:20
rozsah otáček	0-2500 ot./min
maximální výkon	22 / 40 kW
maximální krouticí moment	410 / 759 Nm
NÁSTROJOVÁ HLAVA	
pohon	servomotor
počet pozic (rozměr)	12 (25x25) – (mm)
zdvih v ose X	315 mm
zdvih v ose Z – provedení N / L	855 mm / 1605 mm
rychloposuv v ose X a Z	30 m/min
maximální posuvová síla v ose X a Z	7000 N
HMOTNOST STROJE – provedení N / L	8000 / 10000 kg
Standardní řídicí systém - SIEMENS Sinumerik 810 D	



Obr. 5.2 Rozměry stroje [13]

### 5.2.1 Upnutí nástroje

Ve srovnání s konvečními obráběcími stroji je kladena na upínání řezných nástrojů na CNC obráběcích strojích řada požadavků. V zásadě je nutno rozlišit dva typy řezných nástrojů používaných na CNC strojích a to jsou rotační (frézy, vrtáky) a nerotační (soustružnické) nástroje. Oba tyto typy nástrojů vyžadují upnutí, při kterém dochází k přenosu řezného výkonu při dodržení požadovaných přesností a drsností obrobené plochy. K upnutí nástrojů na CNC soustruzích se většinou používá revolverová hlava, přičemž každý z použitých nástrojů je opatřen speciálním držákem, který zaručí přesné upnutí v této hlavě (obr.5.3). Seřizování nástroje je provedeno mimo stroj v seřizovacím přístroji. Jedním z hlavních požadavků pro správné upnutí nástroje je určení přesné výchozí polohy břitu nástroje, rychlé a jednoznačné upnutí nástroje (tuhost ustavení, použití normalizovaných nástrojů, spolehlivý způsob kódování nástroje), omezení možnosti havárie nástroje. U většiny moderních NC a CNC strojů je aplikována automatická výměna nástrojů, což vede k minimalizaci vedlejších časů.[7]



Obr. 5.3 Nástrojová hlava

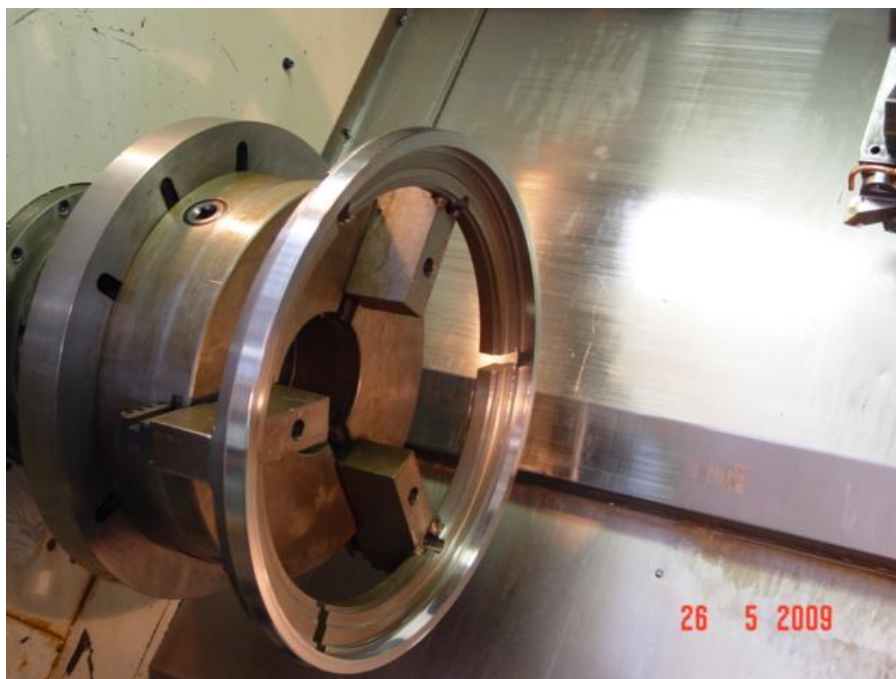
### 5.2.2 Upnutí obrobku

Způsoby upínání u NC a CNC soustruhů se ve své podstatě neliší od upínání na konvenčních strojích (sklíčidlo, lícní deska, mezi hroty) jen je využito pneumatických nebo hydraulických mechanismů pro upnutí obrobku. Upínání ve značné míře ovlivňuje celkovou pracnost, proto je nezbytné vyhovět některým požadavkům:

- Co nejvyšší tuhost a jednoznačnost upnutí,
- Jednoduchost pro co možná nejrychlejší výměnu obrobku,
- Vysokou přesnost opakujícího se upínání obrobku z hlediska stejné polohy obrobku,
- Obrobení co možná největšího počtu ploch na jedno upnutí.

Kromě ručního upínání obrobků existuje však v dnešní době možnost automatické výměny obrobků.[7]

K upínání tenkostěnných dílců se využívají v provozu firmy Honeywell Aerospace Olomouc stavitelné P/čel – upínací čelisti (obr. 5.4)



Obr. 5.4 Upnutí Linerové příruby

## 5.3 Programování NC a CNC strojů

### 5.3.1 Číslicově řídicí systém

Jedná se o číslicové řízení, kdy je program výroby součástky obráběcímu stroji zadáván ve formě čísel a znaků. Ty jsou do systému zadávány formou NC programu. Řídicí systém se dělí na NC (Numerical Control) řídicí systém a CNC (Computerized Numerical Control) řídicí systém. Hlavním pracovním režimem řídicího systému je automatické zpracování technologického postupu a řízení všech pohybů a funkcí stroje. Systém umožňuje řadu různých přípravných úkonů (nahrání programu, korekcí a posunutí počátků, najetí do referenčního bodu a manipulaci s daty.[3]

CNC systémy jsou to systémy řízené počítačem, charakteristické modulární strukturou, velkou operační pamětí i použitím pevného disku pro ukládání programů. U těchto řídicích systémů je možné generovat dráhu přímým matematickým popisem tvaru dráhy programem. Dají se programovat pomocí cyklů, podprogramů i dialogových režimů.[5]



### 5.3.2 Řídící program

Programově řízený obráběcí stroj vykonává předem určenou posloupnost činností, jejichž výsledkem je obrobek požadovaných rozměrů, tvarů a kvality obrobených ploch podle požadavků uvedených na výrobním výkresu. Takovou ukončenou posloupnost příkazů k vykonání uvedených činností nazýváme řídicím programem. Tvorba programu je většinou zcela oddělena od vlastního stroje a připravuje se nezávisle na stroji, mimo výrobní dílnu. U jednodušších programů se provádí zápis přímo do řídicího systému stroje a v dnešní době je možnost jednoduchého vytváření programů přímo na stroji - dílenské programování.[3]

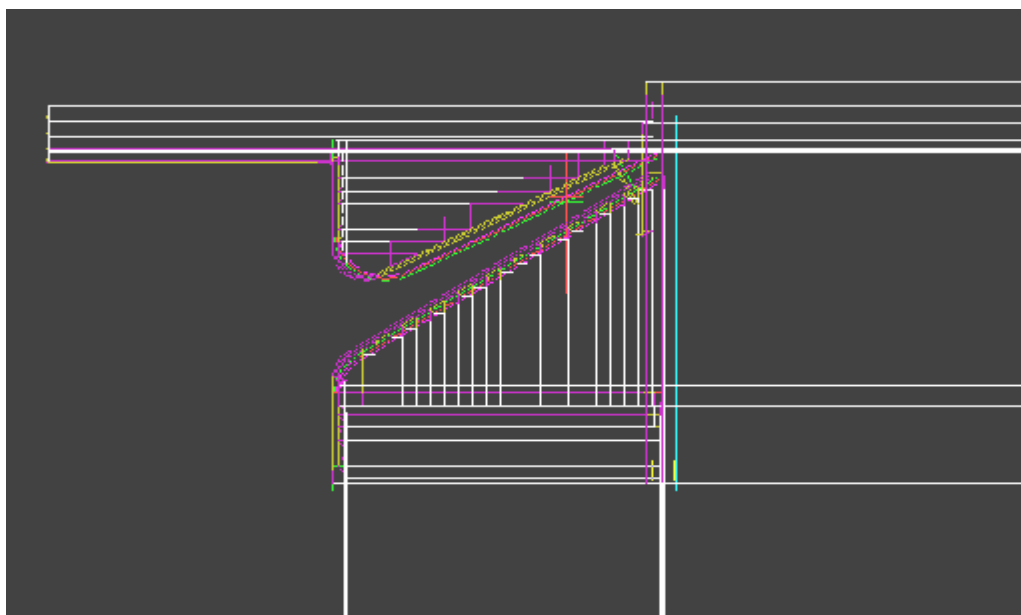
Program pro číslicově řízený obráběcí stroj je posloupnost zakódovaných údajů s definovanou strukturou, které představují uzavřený pracovní cyklus jednoznačně popisující všechny funkce a činnosti konkrétního stroje, které jsou nezbytné pro realizaci předepsaného technologického procesu. Je to tedy soubor úplných, číselně vyjádřených informací, které určují pohyby pracovních orgánů stroje (suportů, stolů, vřeten, atd.) co do velikosti, směru a smyslu, definují podmínky těchto pohybů (posuv, otáčky) během pracovního cyklu a případně řídí automatickou výměnu nástrojů, eventuálně i obrobků.[5]

### 5.3.3 Tvorba technologie v prostředí SURFCAM

SURFCAM představuje vyspělý CAM systém pro řízení CNC technologií, který však nabízí o něco více, než pouze technologickou (CAM) část. V tomto systému je samozřejmostí skutečné modelování a následné úpravy modelů a to jak modelů zde vytvořených, tak modelů převzatých z jiných systémů. Proto je tento produkt nabízen jako CAD/CAM systém. Tato skutečnost nabízí nesporné výhody oproti CAM systémům, které načítají cizí modely pouze jako sítě polygonů. [17]

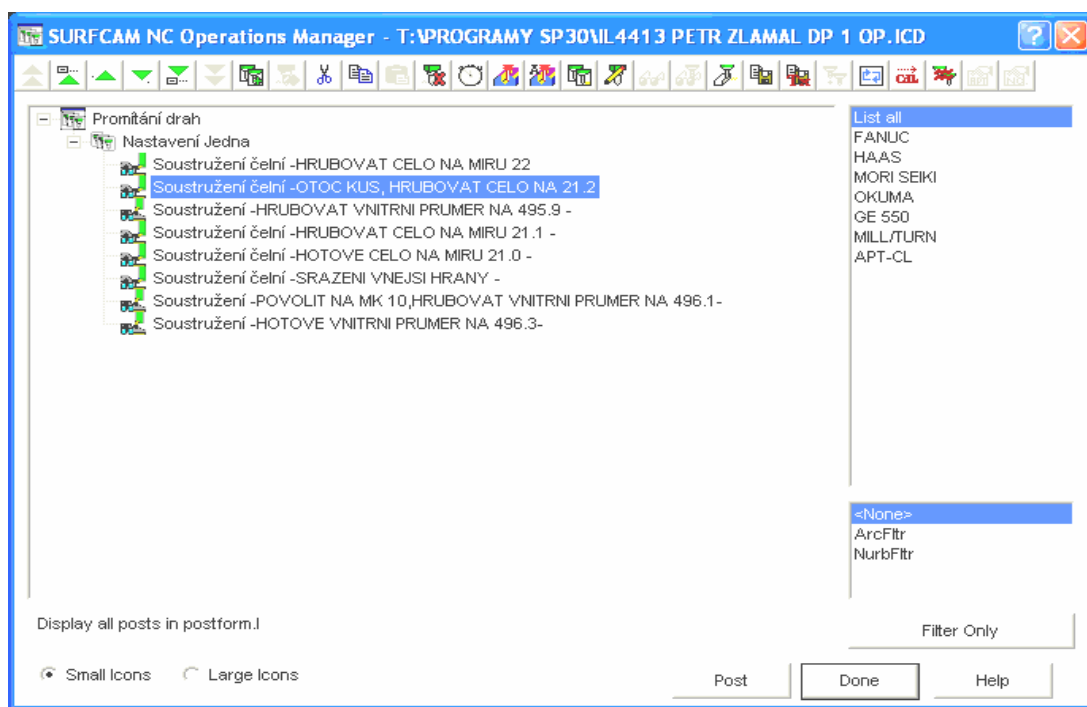
Pro tvorbu technologie budeme využívat program SURFCAM 2004, jde o moderní CAD/CAM. Při tvorbě NC programu pro soustružení můžeme použít už existující DXF (výstupní formát) soubor nebo si samotný dílec přeskreslíme v tomto prostředí. Pokud existuje DXF soubor již v přípravné fázi výroby, ušetří to programátorovi pracovní čas. Samotnou technologii tvoříme postupně po jednotlivých drahách, při zachování 0,2 mm na dokončení. I tento fakt je dobré si označit a pro zlepšení názornosti barevně rozlišit.

Velkou pomocí je i možnost dokreslit si vstupující polotovar. Ten nám umožní naprogramovat dráhu nástroje s maximálním možným využitím (obr. 5.5).



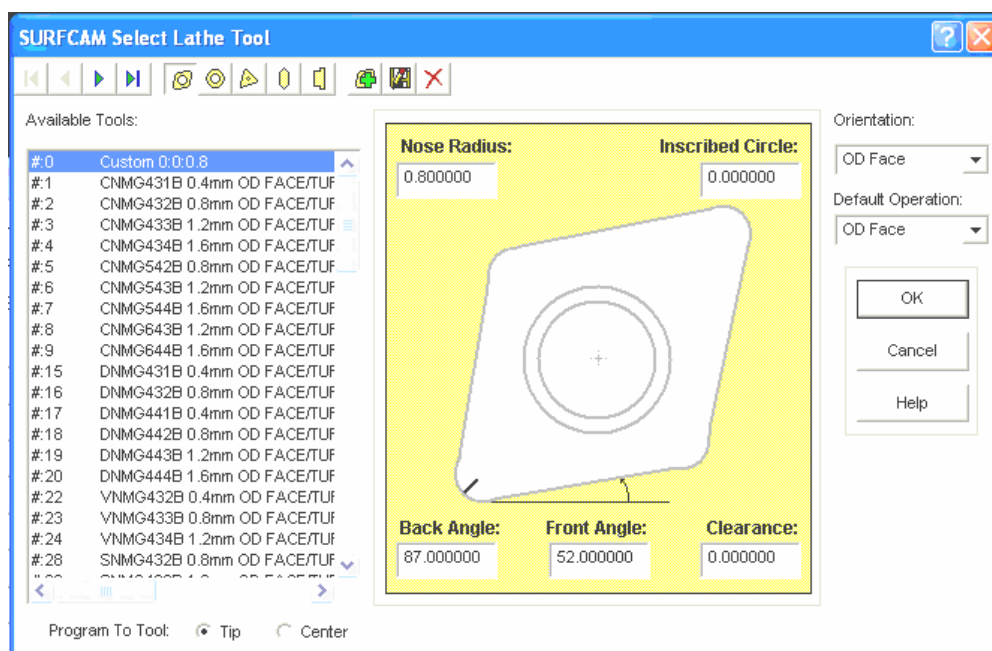
Obr. 5.5 Nadefinování řezných drah

Samotná tvorba NC programu spočívá v nadefinování drah nástroje a určení řezných podmínek. Popis jednotlivých vět nám umožňuje výsledný NC program rozdělit a dosáhnout tak čas na odměření resp. výměnu opotřebovaných vyměnitelných břitových destiček. Náhled na okno, kde jsou rozepsané jednotlivé věty je na obr. 5.6. Do popisu vět se můžou zapsat i speciální požadavky pro měření, případně upnutí a na skutečnosti, které je potřebné vědět při provádění této operace.



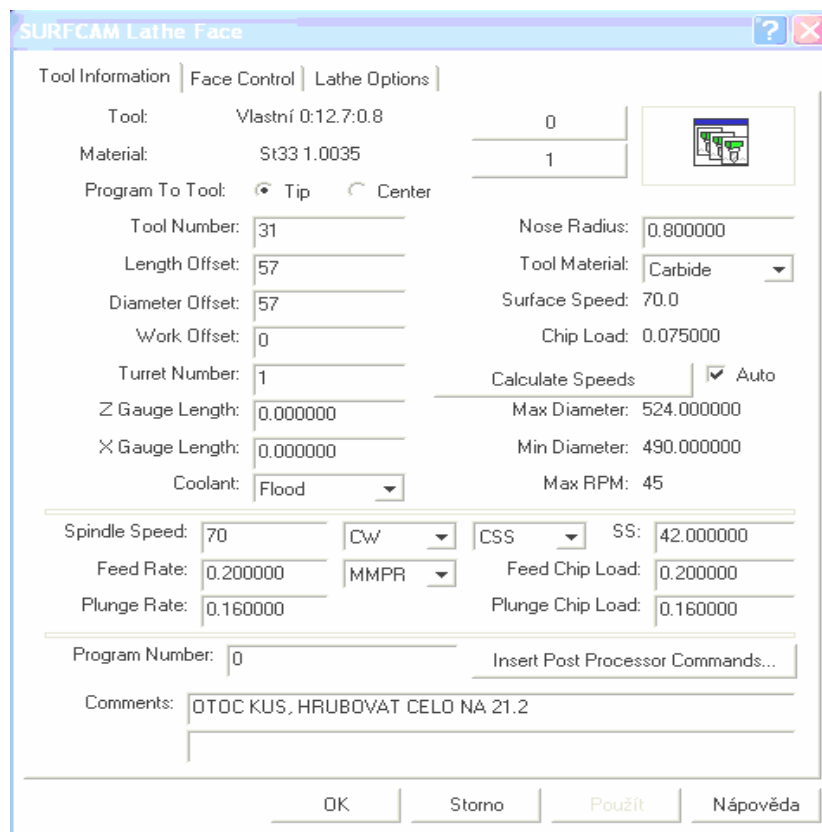
Obr. 5.6 Věty operace soustružení

Při tvorbě těchto vět musíme definovat začátek, konec dráhy, řezný nástroj a popis dané věty. Pohyby nástroje před a po obrábění dráhy nám definuje složka v tom samém okně. Řezný nástroj se dá vybrat z knihovny nástrojů. Pokud nástroj nemáme, musíme ho pomocí zápisu nadefinovat a přidat do knihovny. Takto nadefinovaný a uložený nástroj můžeme používat i v následujících programech. Nástroj se definuje kompletně se všemi parametry, abychom dosáhli skutečné údaje o tvaru VBD (obr.5.7). Tato skutečnost je důležitá pro přesné vymezení prostoru, kam se s nástrojem dostaneme při přejezdech a verifikacích drah nástroje.



Obr. 5.7 Výběr nástroje

Dalším krokem je definice vhodných řezných podmínek (obr. 5.8), které zjistíme výpočtem, nebo z údajů od výrobce řezného materiálu. V minulosti existovaly různé normativy pro různé druhy materiálů. Pro naše podmínky se takový způsob dá použít pouze okrajově, neboť povaha dílce má charakter tenkostěnné příruby o průměru 490mm. Každý definovaný nástroj má svoje číslo, pod kterým je uložený. Toto číslo se automaticky uloží do tabulky nástroje. Technolog si musí vybrat řezné podmínky a přesně je nadefinovat. Definovat musíme i pohyb nástroje mimo dráhu nástroje, jde především o vyjetí nástroje do bezpečné vzdálenosti nad obrobek, abychom zamezili případným kolizím nástroje s obrobkem, případně přípravkem. Nástroj se musí mezi každou větou přesunout do polohy přístupné obsluze stroje na očištění, případně výměnu VBD.



Obr. 5.8 Definování řezných podmínek

## 5.4 Návrh vhodného nástroje a řezných parametrů

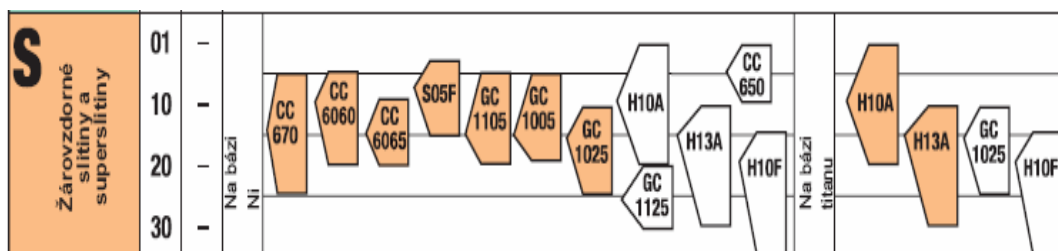
Vzhledem k rostoucím nárokům na obráběcí proces je kladen stále větší důraz na kvalitu obráběcích nástrojů. Význam a výběr řezného materiálu, stejně tak jako strojů, přípravků a prostředí, ve kterém pracují má za následek zvětšující se možnosti výběru rozličných druhů nástrojů a materiálů do mnoha různých výrobců. Vlastnosti nástrojů nelze posuzovat odděleně, nýbrž ve spojitosti se soustavou, ve které působí, tedy v soustavě SNOP.

Materiály s tvrdostí 40-60 HRC se v minulosti obráběly jedinečně broušením nebo obráběním při extrémně nízkých řezných rychlostech. Vývoj nových řezných materiálů přinesl do obrábění kovů revoluci. V dnešní době se i nejtvrdší materiály opracovávají třískově, což vede ke zvýšení produktivity a spolehlivosti obrábění. Volba nástroje pro obrábění tvrdých materiálů je z velké části ovlivňována obrobkem. V důsledku toho, mohou při obrábění nastat problémy typu tvorby trhlin, vydrolování břitu, rychlé opotřebení břitu, lom břitu nebo břitové destičky, vysoké teploty v oblasti řezání, pnutí v obrobku atd.

### 5.4.1 Analýza řezných materiálů

Základní podmínkou dobré a spolehlivé práce nástroje a uskutečnění požadované technologické operace je správná volba řezného materiálu. Nové stroje, progresivní technologie a náročnější materiály na výrobky kladou stále větší nároky na kvalitu všech druhů nástrojů. Výkon a životnost nástrojů jsou tedy přímo závislé především na vybraném nástrojovém materiálu. Volbu nástrojového materiálu uskutečňujeme především vzhledem k jeho odolnosti proti otupení a namáhání. Působením tlaku a ohybu při vysoké teplotě dochází vlivem abraze, adheze, difúze a oxidace k opotřebování nástroje.

Při výběru řezného materiálu je jako první krok zařazení slitin Inconel do příslušné skupiny obráběného materiálu. Slitiny Inconel patří do skupiny žáruvzdorných slitin. Tyto slitiny dle katalogu výrobců řezných materiálů nejlépe vyhovují pro skupinu „S“ (tepelně odolné materiály) viz směrnice VDI 3323, která popisuje označení obráběných materiálů (obr. 5.3). Tato skupina materiálů je velmi obsáhlá, ale v katalozích výrobců je bohužel zobecněná. To je zapříčiněno tím, že průmyslová výroba preferuje automobilový průmysl před leteckým.



Obr. 5.3 Katalogové zařazení slitiny Inconel [10]

Pro výrobu nástrojů se používá mnoho různých materiálů, které se liší určením a použitím jednotlivých nástrojů. Vzhledem k požadavkům na kvalitu materiálu pro NC nástroje se téměř nepoužívají nástrojové oceli, které se nahrazují trvalejšími materiály. Jedním z používaných materiálů jsou slinuté karbidy (SK) a povlakované slinuté karbidy (PSK).

### 5.4.2 Návrh geometrie VBD

Obráběcí nože tvoří nejpočetnější skupinu řezných nástrojů, které se používají v různých metodách obrábění a jsou zpravidla jednobřité. Použitelnost nástrojů na CNC obráběcích strojích a zejména pak při jejich nasazení v rámci PVS (pružné výrobní systémy) je podmíněna jejich vysokou kvalitou a stabilitou nastavených parametrů.

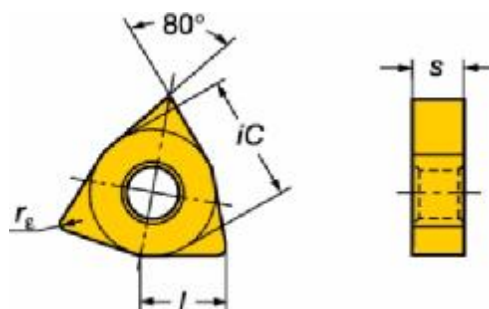
Toho v praxi dosáhneme použitím vyměnitelných břitových destiček (VBD) ze slinutých karbidů v současné době povlakovaných v rozsahu cca 80%, volbou optimálních řezných podmínek - správná geometrie řezné části nástroje, hodnoty řez. rychlostí, posuvů a hloubky řezu, chlazení atd.

Geometrie má značný vliv na velikost složek řezné síly, na chvění systému SNO, na utváření a odvod třísky. Tím ovlivňuje i kvalitu obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje.[2]

Při volbě typu a velikosti břitové destičky se snažím vycházet z výkresové dokumentace a požadavků materiálu, ze kterého je vyrobena linerová příruba. Tvar břitové destičky je závislý na operaci a je ho třeba volit s ohledem na požadovaný úhel nastavení, přístup do řezu či na univerzálnost použití nástroje. Z hlediska pevnosti a hospodárnosti je třeba volit co největší úhel špičky. Slitiny Inconel mají při obrábění nevhodnou, těžkou lámavou třísku, je proto nutné vhodně volit utvařeče třísky, abychom vyčerpali veškerou plasticitu třísky. Již od zmíněného dodavatele, firmy Sandvik Coromant jsem zvolil VBD s katalogovým označením WNMG 08 04 08-MF pro hrubovací operace a břitovou destičku s označením VBMT 16 04 08-MF pro dokončovací operace.

#### **Vyměnitelná břitová destička: WNMG 08 04 08-MF**

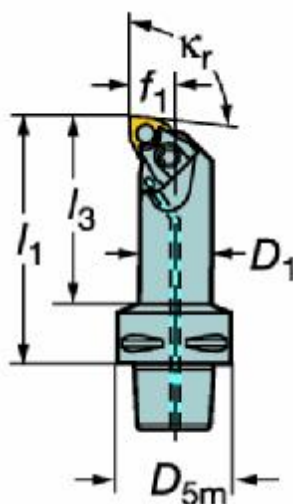
Tuto VBD je možno používat jak pro vnější podélné obrábění, tak i pro vnitřní podélné obrábění. Jedná se o vyměnitelnou břitovou destičku tvaru W-Trigon s negativní geometrií a úhlem nastavení  $95^\circ$ . Destička má tři ostří a úhel nastavení špičky  $80^\circ$ , je tedy především vhodná pro hrubovací operace.



Obr. 5.4 Tvar VBD [10]

### Držák VBD: C4-MWLN-27120-08

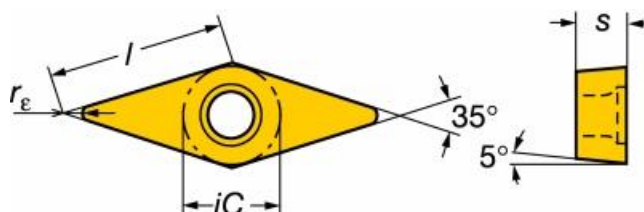
Kombinovaný systém upínání za otvor M dle ISO. Tento způsob upnutí je důležitý při přerušovaném řezu, kdy mohou složky řezné síly způsobit změnu polohy destičky směrem nahoru.[2]



Obr. 5.5 Systém Coromant Capto, kombinované upnutí [10]

### Vyměnitelná břitová destička: VBMT 16 04 08-MF

Tato břitová destička tvaru V 35° s pozitivní geometrií a úhlem nastavení 93° je především určená pro dokončovací operace při vnějším i vnitřním soustružení. Malý úhel špičky nám umožňuje obrábět tvarově složité obrobky.

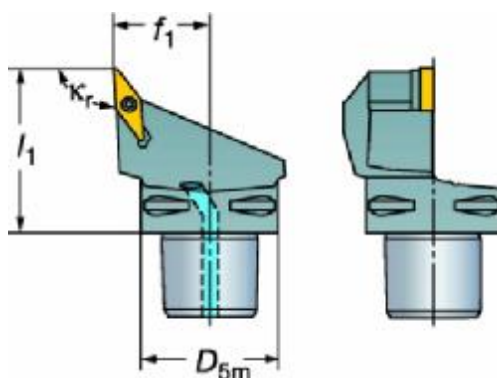


Obr. 5.6 Tvar VBD [10]



### Držák VBD: C4-SVJBL-27050-16

Upnutí VBD přes středový otvor pomocí šroubu dle ISO - S. Uplatňuje se tam, kde je málo místa pro upnutí VBD, vyznačuje se bezpečným upnutím, opakovatelnou přesností upínání, volným odchodem třísky. Především se používá pro vnitřní soustružení.[2]



Obr. 5.7 Systém Coromant Capto, upnutí za šroub [10]

Materiál GC1105, z něhož jsou VBD, určený pro obrábění žáruvzdorných slitin a superslitin je velmi efektivní v obrábění niklových a kobaltových slitin a dalších tvrdých materiálů. Nové technologie nanášení PVD povlaků umožnila zlepšit odolnost proti opotřebení a zvýšit spolehlivost obrábění při vyšších řezných rychlostech.[10]

## 5.5 Nově navržená technologie výroby dílce

U CNC stroje se plánování postupu výroby provádí před vlastním obráběním, kdy technolog postupář provádí rozbor současné technologie, určí operace pro CNC stroj a zvolí vhodný obráběcí nástroj. Technolog spolupracuje s programátorem na vytvoření technicko-technologické dokumentace. Jeho povinností je posoudit výrobní výkres součásti. Někdy je nutné tento výkres přepracovat s ohledem na programování pro NC stroj (způsob kótování, výpočty úhlů, zaoblení, rozteče apod.) a posoudit technologický postup pro danou součást, stroj (řídící systém).

Technolog programátor z výrobního výkresu, pracovního postupu, seřizovacího, nástrojového a souřadnicového listu sestaví řídicí program (součást přílohy). Doplní

práci technologa postupáře o číslo NC programu, zajistí jeho archivaci a odešle program na DNC server.[6]

Simulací ve vhodném CAM systému zjistíme přípravné a výrobní časy. Ty pak slouží jako podklady pro kapacitní plánování a využití stroje.

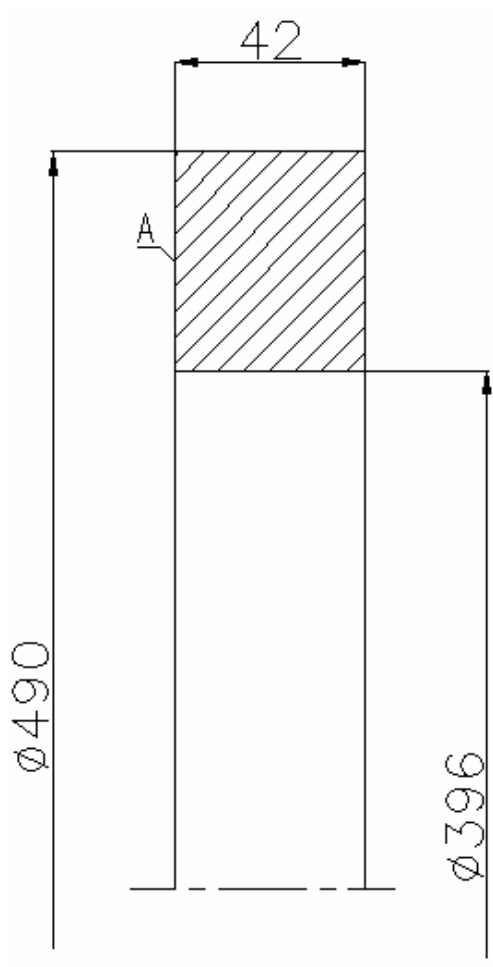
Obsluha stroje si přepoše uložený program z hlavního počítače (DNC server) do stroje. K tomu využívá kabelové sítě, na niž jsou napojeny i další stroje ve výrobě.

Použitím plně automatizovaného CNC stroje při výrobě linerové příruby dochází k nahrazení třech výrobních operací na třech různých strojích dvěma operacemi na jednom stroji. Konečný tvar dílce je obroben na dvě upnutí při zachování stejné strategie obrábění jako u stávající výroby. Obsluha stroje využívá IL-instruktažní list, který upřesňuje požadavky technologického postupu (součást přílohy).

Vlastní obrábění dílce začíná načtením programu do stroje, ustavením dílce do P/čel za vnější průměr a vystředěním dílce číselníkovým úchylkoměrem. Operátor či seřizovač stanoví vztažné body NC stroje, nulový bod obrobku a provede korekce. Tím nadefinuje vzájemnou polohu stroje, nástroje a obrobku.

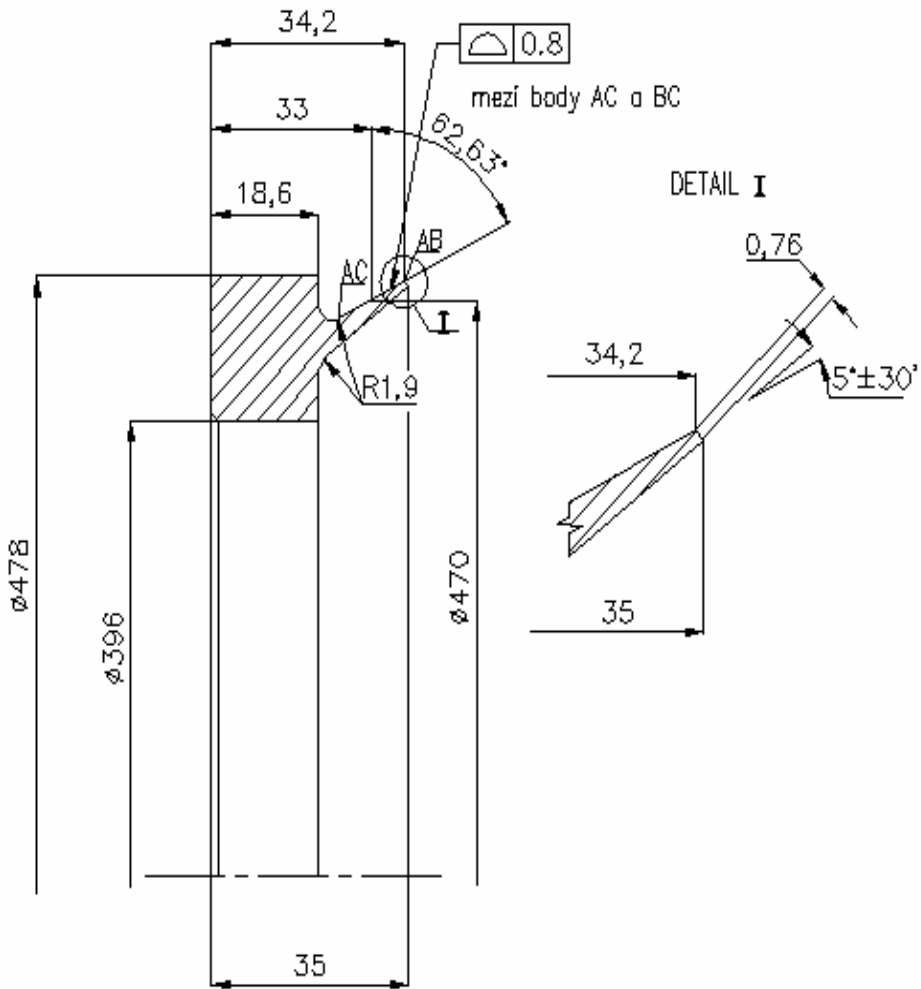
Po spuštění programu, řezný nástroj najede do pracovní polohy a začne samotný proces hrubování vnitřního průměru dílce. Po skončení programu obsluha stroje překontroluje rozměry, zda-li odpovídají předepsaným požadavkům technologického postupu. Před začátkem druhé výrobní operace obsluha stroje ustaví dílec, vymezí házivost a upne ho pomocí P/čel za vnitřní průměr. Provedením druhé operace získáváme finální požadované rozměry a tvar dílce. Následující operace (odmašťování, kapilární a finální kontrola) jsou shodné s původním technologickým postupem.

## 6 Technologický postup navržené výroby

Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operac e
005	3412415 Soustružení	1.Ustavit výkovek za vnější průměr do P/Čel s dorazem na čelo "A" a upnout 2.Soustružit dle IL	SP 35 CNC; IL 3741 Instrukční list; Upínací čelisti P/Čel 3060573-904/15; Držák VBD C4- MWLNR-27120-08; VBD WNMG 08 04 08-MF	NC program viz. příloha	46
					

Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operac e
010	0413113 Soustružení	1.Ustavit výkovek P/Čel za vnitřní průměr s dorazem na čelo "B" a upnout 2.Soustružit dle IL	SP 35 CNC; Upínací čelisti P/Čel M602.215/95; Měřidlo speciální M/Sp 3060573-904/15 Držák VBD C4- SVJBL-27050-16; VBD VBMT 16 04 08- MF;	NC program viz. příloha	88,12
<p>Technical drawing of a lathe workpiece. The main view shows a cylindrical part with a total length of 478 mm and an outer diameter of 470 mm. A central section has a diameter of 396 mm and a length of 35 mm. A shoulder has a diameter of 34.2 mm and a width of 33 mm. A fillet with a radius of R1.9 transitions between diameters. A detail view 'DETAIL I' shows a chamfer with a width of 0.76 mm and an angle of 5° ± 30'. Surface texture symbols are present: a semi-circle for Ra 0.8 and a square for Rz 6.3. Points A, B, C, and I are marked on the drawing.</p>					

Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operac e
020	2635111 Odmašťování ekol.	Odmastit dílec dle předpisu	Odmašťovací linka – EKOL 1780, 1840 Alkalické odmaštění CHP-6		0,980
025	2868813 Kapilární kontrola	Fluorescenční kontrolu provádět dle MDT01 a EMS52309 Hodnocení: povrch EMS 57931 class1.			0,010

Op	Pracoviště Název operace	Popis práce	Stroj, nástroj, měřidlo, pomůcky	Řezné parametry (v, f, a <sub>p</sub> )	Čas operac e
030	0986117 Kontrola	1. Překontrolovat vzhled výrobku, jeho celkové provedení a čistotu. 2. Překontrolovat dle průvodního listu provedení všech operací 3. Kontrolovat rozměry předepsané v DIP dle T.V., rozměry neuvedené kontrolovat dle nákresu v operaci. 4. Výsledek kontroly potvrdit v průvodním listě.			6,86
 <p>The technical drawing shows a cross-section of a mechanical part. The main dimensions are: overall width 34,2, inner width 33, and a smaller width of 18,6. The overall height is 478, with an inner diameter of 396 and an outer diameter of 470. A fillet with radius R1,9 is shown. A detail view labeled 'DETAIL I' shows a chamfer with a width of 0,76 and a height of 34,2, with a width of 35 at the base. A surface texture symbol indicates a value of 0,8. Points AC and BC are marked on the part, and the distance between them is indicated as 62,63. The angle between the chamfer and the horizontal is 5° ± 30'.</p>					

## **7 Technicko - ekonomické zhodnocení stávající a navržené technologie**

Porovnání stávající a navržené technologie výroby jsem zpracoval na základě zjištěných hodnot spotřeby času pro jednotlivé operace obrábění. U stávající technologie výroby byly tyto časy získány z výrobního postupu součásti a ověřeny přímo na pracovišti.

U navržené technologie byly spotřeby času pro výrobní operace na CNC stroji stanoveny pomocí simulace v CAD/CAM systému, který automatizovaně vypočítá čas trvání jednotlivých operací. Na konec byly tyto časy doladěny do stávající podoby přímo na stroji. Vzhledem k porovnání časů obou metod lze předpokládat, že tyto časy jsou reálné, úzce závislé na dokonalosti výroby, na zkušenostech a zručnosti obsluhy pracovního stroje.

### **7.1 Porovnání stávající a navržené technologie výroby**

U stávající technologie výroby je obrábění dílce realizováno pomocí dvou konvečních strojů a zakončeno na plně automatizovaném SP 30 CNC soustruhu.

Nahrazením těchto strojů stávající výroby plně automatizovaným SP 35 CNC soustruhem v nově navržené technologii výroby, dochází nejen k úspoře operačních časů při obrábění dílce, ale především se nám zkrátí časy přípravné a úplně zmizí časy vzniklé pohybem dílce mezi jednotlivými pracovišti. Důsledkem toho je urychlení výroby dané součásti, dochází ke snížení nákladů při výrobě, nadbytečného pohybu dílce a ušetření lidské práce.

## 7.2 Ekonomické hodnocení

Při zjišťování ekonomických aspektů výroby vycházíme z hodinové sazby platné v provozech firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

### 7.2.1 Stávající technologie výroby:

Konvenční stroj + NC stroj

Celkový čas obrábění =  $75,46 + 113 = 188,460$  min

Konvenční stroj: cena stroje + (fixní a variabilní náklady) = 1200 Kč/hod

NC stroj: cena stroje + (fixní a variabilní náklady) = 1650 Kč/hod

Počet obrobených kusů za hodinu:

$ks = 60 \text{ min} / \text{celkový čas obrábění}$

$ks = 60 / 75,46$

$ks = \underline{0,80}$

Výpočet ceny jednoho kusu:

$1 \text{ kus} = \text{hodinová sazba} / ks$

$1 \text{ kus} = 1200 / 0,80$

$1 \text{ kus} = \underline{1500 \text{ Kč}}$

Počet obrobených kusů za hodinu:

$ks = 60 \text{ min} / \text{celkový čas obrábění}$

$ks = 60 / 113$

$ks = \underline{0,53}$

Výpočet ceny jednoho kusu:

$1 \text{ kus} = \text{hodinová sazba} / ks$

$1 \text{ kus} = 1650 / 0,53$

$1 \text{ kus} = \underline{3113 \text{ Kč}}$

Celková cena výroby jednoho kusu přijde na **4613 Kč**.



### 7.2.2 Nově navržená technologie výroby:

NC stroj

Celkový čas obrábění = 134,12 min

NC stroj: cena stroje + (fixní a variabilní náklady) = 1650 Kč/hod

Počet obrobených kusů za hodinu:

$ks = 60 \text{ min} / \text{celkový čas obrábění}$

$ks = 60 / 134,12$

$ks = \underline{0,44}$

Výpočet ceny jednoho kusu:

$1 \text{ kus} = \text{hodinová sazba} / ks$

$1 \text{ kus} = 1650 / 0,44$

$1 \text{ kus} = \underline{3750 \text{ Kč}}$

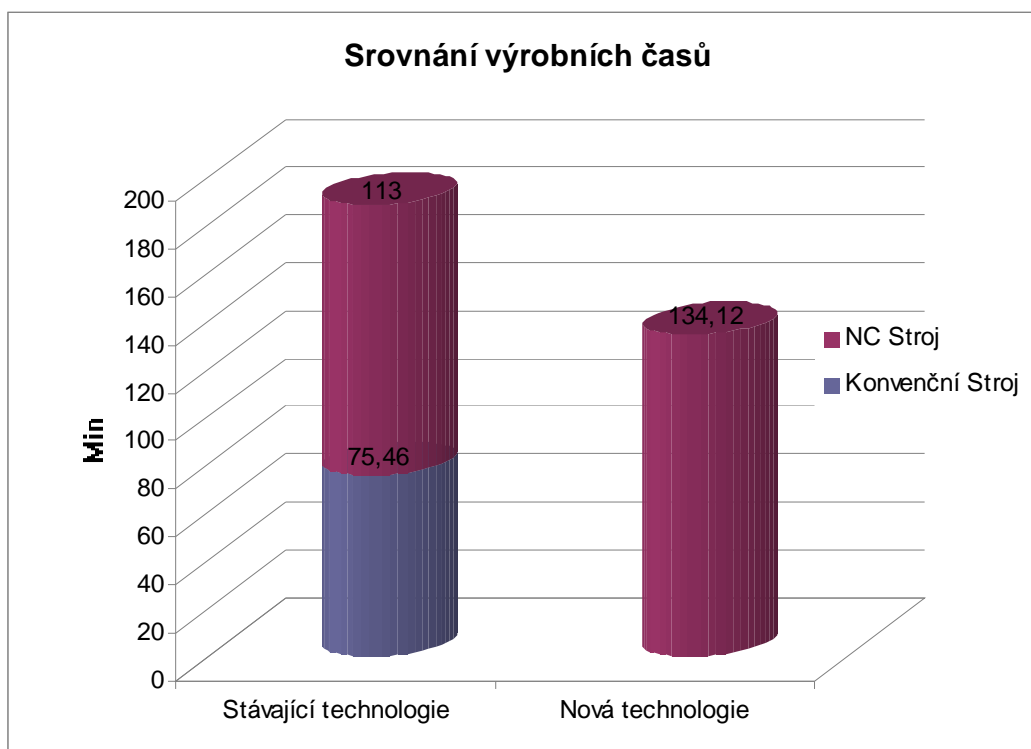
Celková cena výroby jednoho kusu přijde na **3750 Kč**.

Tab. 7.1 Vyhodnocení

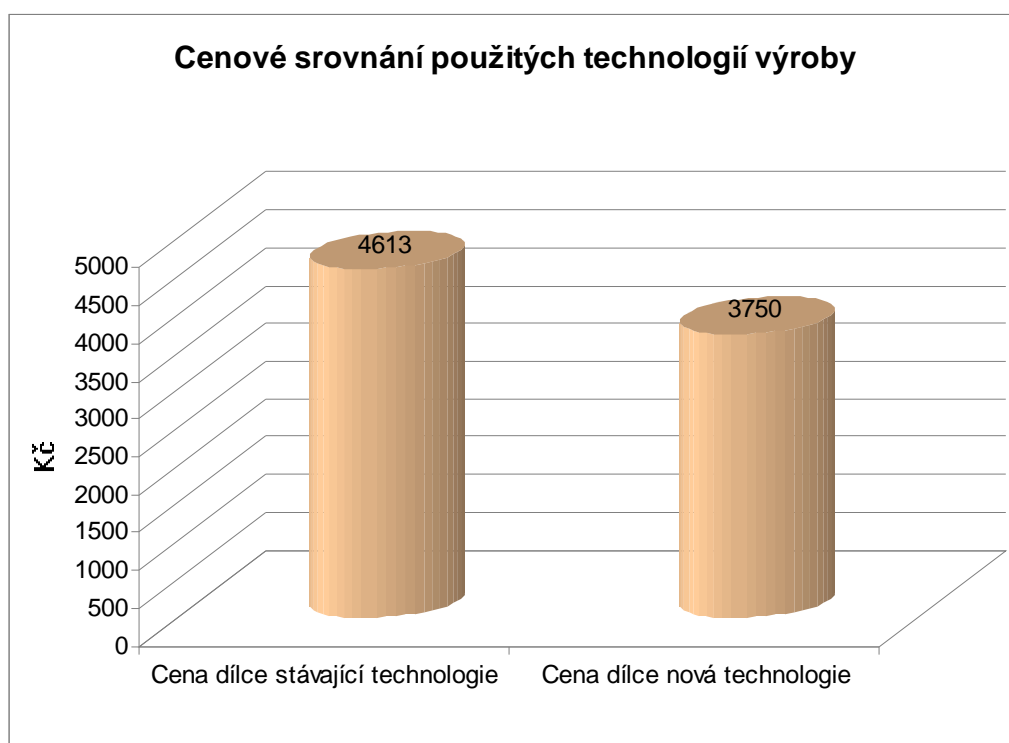
Technologie výroby	Použitý stroj	Čas obrábění jednoho kusu [min]	Počet vyrobených kusů [ks/hod]	Cena jednoho kusu [Kč]	Ušetřené náklady při výrobě 10ks [Kč]
Stávající technologie	Konveční	75,46	0,80	4613	0
	NC	113	0,53		
Navržená technologie	NC	134,12	0,44	3750	8630

Následující grafy znázorňují hodnoty porovnávané v tabulce.

Graf 7.1 Srovnání výrobních časů



Graf 7.2 Cenové srovnání



## 8 Závěr

Cílem bakalářské práce byla racionalizace leteckého dílce s využitím CNC obráběcího stroje v podmínkách firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. Došlo k nahrazení stávající technologie výroby nově navrženou technologií spolu s novými nástroji a vytvoření příslušných řídicích NC programů. Stroje stávající výroby byly nahrazeny již zmíněným CNC strojem.

Pro vyřešení tohoto úkolu byla navržena nová technologie výroby s využitím plně automatizovaného obráběcího soustruhu SP 35 CNC, se standardním řídicím systémem SIEMENS Sinumerik 810 D. Celý řídicí program byl vytvořen v programu SURFCAM, který vygeneroval NC kódy pro navržený obráběcí stroj. Použitím navržených nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami dochází ke zvýšení produktivity obrábění a zvýšení přesnosti a spolehlivosti.

Nahrazením stávající technologie výroby nově navrženou technologií výroby leteckého dílce vede k výraznému zkrácení výrobních časů. Použitím ekonomických ukazatelů při výpočtu technicko-ekonomického hodnocení obou technologií vyplývá, že nově navržená technologie přinese především z ekonomického hlediska úsporu. Ve skutečnosti navržená technologie přináší mnohem větší úsporu, protože v technicko-ekonomickém hodnocení nebyly započítány časy přípravné, které jsou u navržené technologie minimální, a časy vzniklé pohybem dílce po dílně, které jsou narozdíl od stávající technologie zcela zanedbatelné.

Nové možnosti firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o. vedou k nákupu a modernizaci strojového parku. Snahou firmy je navržení nových technologických postupů u většiny svých výrobků, z čehož plyne úspora finančních prostředků. Výsledkem toho je nalezení vhodného způsobu, jak se udržet na trhu práce v dnešní nepříznivé době ekonomické krize.

Pozn.:

Použité rozměry ve výrobním postupu a NC programu jsou smyšlené, z důvodu zachování utajení o zneužití informací týkající se i množství použitých dat. Tyto podmínky pro vypracování Bakalářské práce byly stanoveny v podmínkách firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o.

## **Poděkování**

Děkuji technologům firmy Honeywell Aerospace Olomouc s.r.o., zejména Martinu Bielikovi a Vladimíru Sklenářovi, kteří mi poskytli informace k tématu mé bakalářské práce a zároveň příležitost k jejímu zpracování.

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaromírovi Adamcovi, Ph.D., z katedry a montáže VŠB – TU Ostrava za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálových podkladů k práci.

## Použitá literatura

- [1] KUDELA, M. *Příručka obrábění – kniha pro praktiky*. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů, 1.část*. 2.vyd. Ostrava: ES VŠB – TU Ostrava, 2008. 148 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 1053 – 9
- [3] OPLATEK, F.; *Číslicové řízení obráběcích strojů*, Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 120 s. ISBN 80 – 7200 – 294 – 5
- [4] OPLATEK, F.; *Automatizace výrobních procesů*, Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 130 s. ISBN 80 – 7200 – 207 – 4
- [5] JANDEČKA, K.; ČESÁNEK, J.; KOŽMÍN, P.; *Programování NC strojů*, Plzeň: ZČU v Plzni, 2000, 120 s. ISBN 80 – 7082 – 692 – 4
- [6] SVOBODA, E.; *Technologie programování NC strojů*, Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 100 s. ISBN 80 – 7200 – 297 – X
- [7] KRÁL, M. a kol; *Základy CNC obráběcích strojů*, Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, ISBN 80 – 7200 – 295 – 3
- [8] HUMÁR, A. *Technologie I (Technologie obrábění – 1. část)*. Brno: VUT Brno, 2003. 138 s.
- [9] ČEP, Robert. *Technologie II – 2. díl*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 1822 – 1
- [10] SANDVIK Coromant [online]. Aktualizováno 13.9.2008. [citováno 10.dubna 2009]. Dostupné z : < <http://www.coromant.sandvik.com/cz> >
- [11] HONEYWELL Aerospace Olomouc s.r.o. [online]. [citováno 22. března 2009]. Dostupné z: < <http://www.honeywell.com/sites/cz/Letectvi.htm> >
- [12] BRAVO Loštice s.r.o. [online]. Aktualizováno 12.5.2008. [citováno 24. března 2009]. Dostupné z: < [http://www.bravolostice.cz/obrabeni\\_skj8f.html](http://www.bravolostice.cz/obrabeni_skj8f.html) >
- [13] CZ.TECH Čelákovice a.s. [online]. Aktualizováno 5.1.2009. [citováno 2. dubna 2009]. Dostupné z: < <http://www.cztech.cz/cnc.html> >
- [14] Metallfox [online]. [citováno 10.května 2009]. Dostupné z: < [http://www.metallfox.cz/specialni\\_ocel\\_inconel\\_alloy\\_718.php](http://www.metallfox.cz/specialni_ocel_inconel_alloy_718.php) >

- [15] *Bibus* [online]. Aktualizováno 13.10.2008. [citováno 7. března 2009]. Dostupné z:  
< <http://www.bibus.cz/cz/?pg=vypis-produktu&id=310> >
- [16] Katalog a technický průvodce firmy Seco Tools. 2004.
- [17] *3E PRAHA ENGINEERING a.s.* [online]. [citováno 8.května 2009]. Dostupné z:  
< [http://www.3epraha.cz/surfcam/popis\\_produkty.php](http://www.3epraha.cz/surfcam/popis_produkty.php) >

## **Přílohy**

Příloha 1. Dílenský výkres typového představitele

Příloha 2. NC program ( druhá operace)

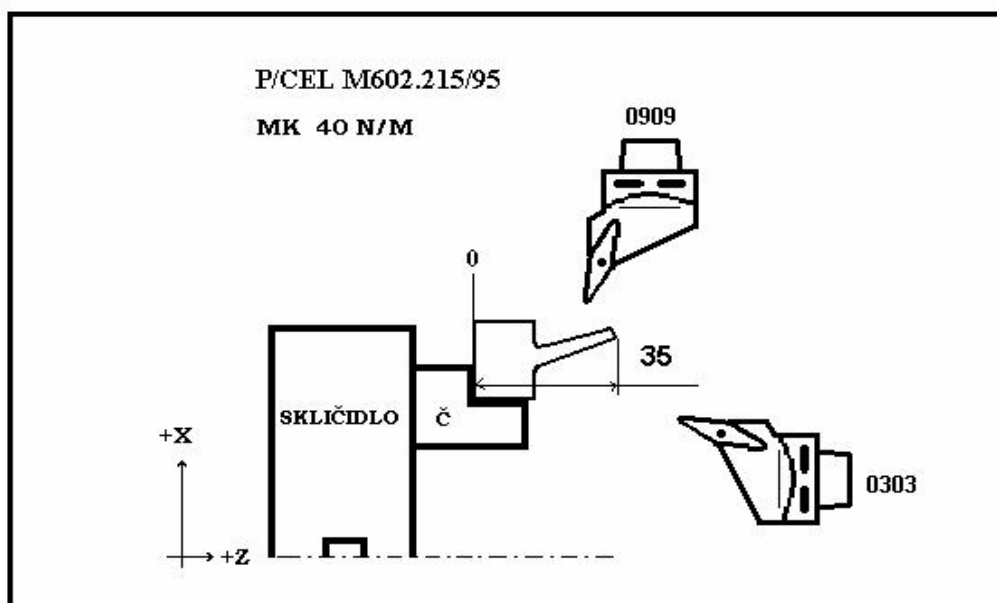
Příloha 3. IL - instruktážní list ( druhá operace)

Příloha 2

Instruktažní list

# **INSTRUKČNÍ LIST SP30CNC + SP35CNC**

	Linerová příruba		REVIZNÍ ZNAK	01
ČÍSLO DÍLCE	3160573	OPERACE	IL	



0303	4	C4-SVJBL-27050-16	VBMT 160408 F1 TS2000	0.8	T2
- ČELO, VNITŘNÍ KAPSU					
0909	3	C4-SVJBL-27050-16	VBMT 160408 F1 TS2000	R0.8	T3
VNEJŠÍ KAPSA					
DATUM 25.5.2009 T Zlamal					



### Příloha 3

#### NC program

```
%_N_TOMAS ZLAMAL 2 OP_MPF
N1 G71 G18
N2 G26 S500
N3 G95
N4 M5M9;(HRUBOVAT CELO NA 35.45)
N5 T03
N6 G96 S100 M4
N7 G0 X300. Z300.
N8 M8
N9 G0 Z300.5
N10 X494.9
N11 Z20.549
N12 G1 X495.9 F.15
N13 X525.6 F.16
N14 X526.6
N15 G0 Z21.049
N16 X494.9
N17 Z19.949
N18 G1 X495.9 F.15
N19 X525.6 F.16
N20 X526.6
N21 G0 Z300.5
N22 X300.
N23 Z300.
N24 M5M9;(HRUBOVAT VNITRNI KAPSU NA PR.402;CELO NA 18.8)
N25 M0
N26 T333
N27 G96 S100 M4
N28 G0 X300. Z300.
N29 M8
N30 G0 X299.
N31 Z20.449
N32 X496.295
N33 G1 X497.295 F.15
N34 Z19.949 F.16
N35 Z8.8
N36 X496.295
N37 X495.429 Z9.05
N38 G0 X495.295
N39 Z20.449
N40 X497.295
N41 G1 X498.295 F.15
N42 Z19.949 F.16
N43 Z8.8
N44 X497.295
N45 X496.429 Z9.05
N46 G0 X496.295
```

N47 Z20.449  
 N48 X498.295  
 N49 G1 X499.295 F.15  
 N50 Z19.949 F.16  
 N51 Z8.8  
 N52 X498.295  
 N53 X497.429 Z9.05  
 N54 G0 X497.295  
 N55 Z20.449  
 N56 X499.295  
 N57 G1 X500.295 F.15  
 N58 Z19.949 F.16  
 N59 Z8.8  
 N60 X499.295  
 N61 X498.429 Z9.05  
 N62 G0 X498.295  
 N63 Z20.449  
 N64 X500.295  
 N65 G1 X501.295 F.15  
 N66 Z19.949 F.16  
 N67 Z8.8  
 N68 X500.295  
 N69 X499.429 Z9.05  
 N70 G0 X499.295  
 N71 Z20.249  
 N72 X501.  
 N73 G1 X502. F.15  
 N74 Z19.749 F.16  
 N75 Z8.8  
 N76 X501.295  
 N77 X500.429 Z9.05  
 N78 G0 X299.  
 N79 Z300.  
 N80 X300.  
 N81 M5M9;(OTOC PLATEK-HRUB VNITRNI KAPSU PRIDAVEK 0.2 NA  
 STENU)  
 N82 M0  
 N83 T3339  
 N84 G96 S100 M4  
 N85 G0 X300. Z300.  
 N86 M8  
 N87 G0 Z300.5  
 N88 X500.995  
 N89 Z19.632  
 N90 G1 X501.995 F.15  
 N91 X518.407 F.16  
 N92 X519.053 Z20.132  
 N93 X518.707 Z20.232  
 N94 G0 Z20.632  
 N95 X500.995  
 N96 Z19.132

N97 G1 X501.995 F.15  
N98 X517.761 F.16  
N99 X518.407 Z19.632  
N100 X518.06 Z19.732  
N101 G0 Z20.132  
N102 X500.995  
N103 Z18.632  
N104 G1 X501.995 F.15  
N105 X517.114 F.16  
N106 X517.761 Z19.132  
N107 X517.414 Z19.232  
N108 G0 Z19.632  
N109 X500.995  
N110 Z18.132  
N111 G1 X501.995 F.15  
N112 X516.468 F.16  
N113 X517.114 Z18.632  
N114 X516.768 Z18.732  
N115 G0 Z19.132  
N116 X500.995  
N117 Z17.632  
N118 G1 X501.995 F.15  
N119 X515.822 F.16  
N120 X516.468 Z18.132  
N121 X516.122 Z18.232  
N122 G0 Z18.632  
N123 X500.995  
N124 Z17.132  
N125 G1 X501.995 F.15  
N126 X515.176 F.16  
N127 X515.822 Z17.632  
N128 X515.476 Z17.732  
N129 G0 Z18.132  
N130 X500.995  
N131 Z16.632  
N132 G1 X501.995 F.15  
N133 X514.53 F.16  
N134 X515.176 Z17.132  
N135 X514.829 Z17.232  
N136 G0 Z17.632  
N137 X500.995  
N138 Z16.132  
N139 G1 X501.995 F.15  
N140 X513.883 F.16  
N141 X514.53 Z16.632  
N142 X514.183 Z16.732  
N143 G0 Z17.132  
N144 X500.995  
N145 Z15.632  
N146 G1 X501.995 F.15  
N147 X513.237 F.16

N148 X513.883 Z16.132  
N149 X513.537 Z16.232  
N150 G0 Z16.632  
N151 X500.995  
N152 Z15.132  
N153 G1 X501.995 F.15  
N154 X512.591 F.16  
N155 X513.237 Z15.632  
N156 X512.891 Z15.732  
N157 G0 Z16.132  
N158 X500.995  
N159 Z14.632  
N160 G1 X501.995 F.15  
N161 X511.945 F.16  
N162 X512.591 Z15.132  
N163 X512.245 Z15.232  
N164 G0 Z15.632  
N165 X500.995  
N166 Z14.132  
N167 G1 X501.995 F.15  
N168 X511.299 F.16  
N169 X511.945 Z14.632  
N170 X511.598 Z14.732  
N171 G0 Z15.132  
N172 X500.995  
N173 Z13.632  
N174 G1 X501.995 F.15  
N175 X510.652 F.16  
N176 X511.299 Z14.132  
N177 X510.952 Z14.232  
N178 G0 Z14.632  
N179 X500.995  
N180 Z13.132  
N181 G1 X501.995 F.15  
N182 X510.006 F.16  
N183 X510.652 Z13.632  
N184 X510.306 Z13.732  
N185 G0 Z14.132  
N186 X500.995  
N187 Z12.632  
N188 G1 X501.995 F.15  
N189 X509.36 F.16  
N190 X510.006 Z13.132  
N191 X509.66 Z13.232  
N192 G0 Z13.632  
N193 X500.995  
N194 Z12.132  
N195 G1 X501.995 F.15  
N196 X508.714 F.16  
N197 X509.36 Z12.632  
N198 X509.014 Z12.732

N199 G0 Z13.132  
N200 X500.995  
N201 Z11.632  
N202 G1 X501.995 F.15  
N203 X508.068 F.16  
N204 X508.714 Z12.132  
N205 X508.368 Z12.232  
N206 G0 Z12.632  
N207 X500.995  
N208 Z11.132  
N209 G1 X501.995 F.15  
N210 X507.422 F.16  
N211 X508.068 Z11.632  
N212 X507.721 Z11.732  
N213 G0 Z12.132  
N214 X500.995  
N215 Z10.632  
N216 G1 X501.995 F.15  
N217 X506.775 F.16  
N218 X507.422 Z11.132  
N219 X507.075 Z11.232  
N220 G0 Z11.632  
N221 X500.995  
N222 Z10.132  
N223 G1 X501.995 F.15  
N224 X506.129 F.16  
N225 X506.775 Z10.632  
N226 X506.429 Z10.732  
N227 G0 Z11.132  
N228 X500.995  
N229 Z9.632  
N230 G1 X501.995 F.15  
N231 X505.483 F.16  
N232 X506.129 Z10.132  
N233 X505.783 Z10.232  
N234 G0 Z10.632  
N235 X500.995  
N236 Z9.132  
N237 G1 X501.995 F.15  
N238 X504.824 F.16  
N239 G2 X504.94 Z9.212 CR=.9  
N240 G1 X505.483 Z9.632  
N241 X505.137 Z9.732  
N242 G0 Z10.132  
N243 X500.995  
N244 Z8.8  
N245 G1 X501.995 F.15  
N246 X503.428 F.16  
N247 G2 X504.824 Z9.132 CR=.9  
N248 G1 X504.478 Z9.232  
N249 G0 Z300.5

N250 X300.  
 N251 Z300.  
 N252 M5M9;(HRUBOVAT CELO NA 35.25 - PRO POLOHU NOZE)  
 N253 M0  
 N254 T09  
 N255 G96 S100 M4  
 N256 G0 X300. Z300.  
 N257 M8  
 N258 G0 Z300.5  
 N259 X523.4  
 N260 Z19.749  
 N261 G1 X522.4 F.15  
 N262 X514.447 F.16  
 N263 X514.947 Z20.182  
 N264 G0 Z300.5  
 N265 X300.  
 N266 Z300.  
 N267 M5M9;(HRUBOVAT VNEJSI PRUMER NA 478.4)  
 N268 M0  
 N269 T998  
 N270 G96 S100 M4  
 N271 G0 X300. Z300.  
 N272 M8  
 N273 G0 X524.705  
 N274 X525.105 Z20.173  
 N275 G1 X523.705 F.15  
 N276 Z-1.804 F.16  
 N277 X524.052 Z-1.704  
 N278 G0 X524.705  
 N279 Z20.181  
 N280 G1 X523.905 F.15  
 N281 X522.505 F.16  
 N282 Z-1.803  
 N283 X522.852 Z-1.703  
 N284 G0 X523.505  
 N285 Z20.19  
 N286 G1 X522.705 F.15  
 N287 X521.305 F.16  
 N288 Z-1.801  
 N289 X521.651 Z-1.701  
 N290 G0 X522.305  
 N291 Z20.196  
 N292 G1 X521.8 F.15  
 N293 X520.4 F.16  
 N294 Z-1.8  
 N295 X520.746 Z-1.7  
 N296 G0 X524.705  
 N297 Z300.  
 N298 X300.  
 N299 M5M9;(OTOC PLATEK - HRUBOVAT HORNI KAPSU-CELO NA 18.8)  
 N300 M5M9;(PR.517.14 NA PR. 517.54)

N301 M0  
N302 T99821  
N303 G96 S100 M4  
N304 G0 X300. Z300.  
N305 M8  
N306 G0 X522.  
N307 Z18.406  
N308 G1 X521.005 F.15  
N309 X520.005 F.16  
N310 X519.005 Z17.44  
N311 Z8.8  
N312 X520.005  
N313 X520.352 Z8.9  
N314 G0 X521.005  
N315 Z17.44  
N316 G1 X520.005 F.15  
N317 X519.005 F.16  
N318 X518.005 Z16.474  
N319 Z8.8  
N320 X519.005  
N321 X519.352 Z8.9  
N322 G0 X520.005  
N323 Z16.474  
N324 G1 X519.005 F.15  
N325 X518.005 F.16  
N326 X517.005 Z15.509  
N327 Z8.8  
N328 X518.005  
N329 X518.352 Z8.9  
N330 G0 X519.005  
N331 Z15.509  
N332 G1 X518.005 F.15  
N333 X517.005 F.16  
N334 X516.005 Z14.543  
N335 Z8.8  
N336 X517.005  
N337 X517.352 Z8.9  
N338 G0 X518.005  
N339 Z14.543  
N340 G1 X517.005 F.15  
N341 X516.005 F.16  
N342 X515.005 Z13.577  
N343 Z8.8  
N344 X516.005  
N345 X516.352 Z8.9  
N346 G0 X517.005  
N347 Z13.577  
N348 G1 X516.005 F.15  
N349 X515.005 F.16  
N350 X514.005 Z12.611  
N351 Z8.8

N352 X515.005  
 N353 X515.352 Z8.9  
 N354 G0 X516.005  
 N355 Z12.611  
 N356 G1 X515.005 F.15  
 N357 X514.005 F.16  
 N358 X513.005 Z11.645  
 N359 Z8.8  
 N360 X513.018  
 N361 X514.005  
 N362 X514.352 Z8.9  
 N363 G0 X515.005  
 N364 Z11.645  
 N365 G1 X514.005 F.15  
 N366 X513.005 F.16  
 N367 X512.005 Z10.679  
 N368 Z8.956  
 N369 G2 X513.005 Z8.8 CR=.9  
 N370 G1 X513.352 Z8.9  
 N371 G0 X514.005  
 N372 Z10.679  
 N373 G1 X513.005 F.15  
 N374 X512.005 F.16  
 N375 X511.419 Z10.114  
 N376 G2 X511.218 Z9.7 CR=.9  
 N377 X512.005 Z8.956 CR=.9  
 N378 G1 X512.352 Z9.056  
 N379 G0 X522.  
 N380 Z300.  
 N381 X300.  
 N382 M5M9;(HRUBOVAT VNEJSI PRUMER NA 478.2)  
 N383 M0  
 N384 T9983  
 N385 G96 S100 M4  
 N386 G0 X300. Z300.  
 N387 M8  
 N388 G0 X521.2  
 N389 Z8.5  
 N390 G1 X520.2 F.15  
 N391 Z8. F.12  
 N392 Z-1.8  
 N393 X520.546 Z-1.7  
 N394 G0 X521.2  
 N395 Z300.  
 N396 X300.  
 N397 M5M9;(HOTOVE VNEJSI PRUMER NA 478.2)  
 N398 M0  
 N399 T998315  
 N400 G96 S100 M4  
 N401 G0 X300. Z300.  
 N402 M8



N403 G0 X521.  
 N404 Z8.5  
 N405 G1 X520. F.15  
 N406 Z8. F.12  
 N407 Z-1.8  
 N408 X520.346 Z-1.7  
 N409 G0 X521.  
 N410 Z300.  
 N411 X300.  
 N412 M5M9;(OTOC PLATEK - HRUBOVAT HORNÍ KAPSU-CELO NA 18.7)  
 N413 M5M9;(PR.470 NA PR. 470.2)  
 N414 M0  
 N415 T998  
 N416 G96 S100 M4  
 N417 G0 X300. Z300.  
 N418 M8  
 N419 G0 X522.  
 N420 Z19.229  
 N421 G1 X521.657 F.15  
 N422 X520.657 F.16  
 N423 X511.267 Z10.16  
 N424 G2 X511.043 Z9.7 CR=1.  
 N425 X513.043 Z8.7 CR=1.  
 N426 G1 X520.4  
 N427 X520.746 Z8.8  
 N428 G0 X522.  
 N429 Z300.  
 N430 X300.  
 N431 M5M9;(HOTOVE HORNÍ KAPSU-CELO NA 18.6 ; PR.470)  
 N432 M0  
 N433 T9985  
 N434 G96 S100 M4  
 N435 G0 X300. Z300.  
 N436 M8  
 N437 G0 X522.  
 N438 Z19.27  
 N439 G1 X521.499 F.15  
 N440 X520.499 F.11  
 N441 X511.115 Z10.206  
 N442 G2 X510.868 Z9.7 CR=1.1  
 N443 X513.068 Z8.6 CR=1.1  
 N444 G1 X520.4  
 N445 X520.746 Z8.7  
 N446 G0 X522.  
 N447 Z300.  
 N448 X300.  
 N449 M5M9;(HRUBOVAT VRCHNÍ MALÝ UKOS+CELO NA 35.1)  
 N450 M0  
 N451 T09  
 N452 G96 S100 M4  
 N453 G0 X300. Z300.

N454 M8  
N455 G0 Z300.5  
N456 X521.309  
N457 Z18.751  
N458 G1 X520.309 F.15  
N459 X516.837 Z19.649 F.1  
N460 X514.447  
N461 X514.947 Z20.082  
N462 G0 Z300.5  
N463 X300.  
N464 Z300.  
N465 M5M9;(HOTOVE VRCHNI MALY UKOS+CELO NA 35)  
N466 M0  
N467 T922  
N468 G96 S100 M4  
N469 G0 X300. Z300.  
N470 M8  
N471 G0 Z300.5  
N472 X521.309  
N473 Z18.651  
N474 G1 X520.309 F.15  
N475 X516.837 Z19.549 F.1  
N476 X514.447  
N477 X514.947 Z19.982  
N478 G0 Z300.5  
N479 X300.  
N480 Z300.  
N481 M5M9;(OTOC PLATEK-HRUBOVAT VNITRNI CELO NA 18.7)  
N482 M0  
N483 T377  
N484 G96 S100 M4  
N485 G0 X300. Z300.  
N486 M8  
N487 G0 Z300.5  
N488 X494.9  
N489 Z8.7  
N490 G1 X495.9 F.15  
N491 X503.428 F.16  
N492 X502.562 Z8.95  
N493 G0 Z300.5  
N494 X300.  
N495 Z300.  
N496 M5M9;(HOTOVE VNITRNI CELO NA 18.6)  
N497 M0  
N498 T3778  
N499 G96 S100 M4  
N500 G0 X300. Z300.  
N501 M8  
N502 G0 Z300.5  
N503 X494.9  
N504 Z8.6

N505 G1 X495.9 F.15  
N506 X503.428 F.12  
N507 X502.562 Z8.85  
N508 G0 Z300.5  
N509 X300.  
N510 Z300.  
N511 M5M9;(HRUBOVAT VNITRNI KAPSU NA MIRU 0.86)  
N512 M0  
N513 T03  
N514 G96 S100 M4  
N515 G0 X300. Z300.  
N516 M8  
N517 G0 X299.  
N518 Z20.578  
N519 X518.221  
N520 G1 X519.221 F.15  
N521 Z20.078 F.11  
N522 X505.108 Z9.157  
N523 G3 X503.428 Z8.7 CR=1.  
N524 G1 X502.928 Z9.133  
N525 G0 X299.  
N526 Z300.  
N527 X300.  
N528 M5M9;(HOTOVE VNITRNI KAPSU NA MIRU 0.76)  
N529 M0  
N530 T35  
N531 G96 S100 M4  
N532 G0 X300. Z300.  
N533 M8  
N534 G0 X299.  
N535 Z20.524  
N536 X518.389  
N537 G1 X519.389 F.15  
N538 Z20.024 F.11  
N539 X505.276 Z9.103  
N540 G3 X503.428 Z8.6 CR=1.1  
N541 G1 X502.928 Z9.033  
N542 G0 X299.  
N543 Z300.  
N544 X300.  
N545 M5 M9  
M30